



CENTRO UNIVERSITÁRIO DE BRASÍLIA- UniCEUB
FACULDADE DE TECNOLOGIA E CIÊNCIAS SOCIAIS APLICADAS – FATECS
CURSO DE ENGENHARIA DA COMPUTAÇÃO

GILBERTO JOSÉ DE PAULA

MEDIDOR DE DEMANDA DE ENERGIA ELÉTRICA RESIDENCIAL COM ACESSO REMOTO

Orientador: Prof.^a M.C. Maria Marony Sousa Farias

BRASÍLIA – DF

1º SEMESTRE DE 2013

GILBERTO JOSÉ DE PAULA

MEDIDOR DE DEMANDA DE ENERGIA ELÉTRICA RESIDENCIAL COM ACESSO REMOTO

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado
como requisito parcial à obtenção do grau de
Bacharel em Engenharia de Computação pelo
Centro Universitário de Brasília (UniCEUB) .

Orientador: Prof.^a. M.C. Maria Marony Sousa
Farias

Brasília

Julho, 2013

Este Trabalho foi julgado adequado para a obtenção do Título de Engenheiro de Computação, e aprovado em sua forma final pela Faculdade de Tecnologia e Ciências Sociais Aplicadas - FATECS.

Prof. Abiezer Amarília Fernandes

Coordenador do Curso

Banca Examinadora:

Prof^a.MSc Maria Marony Sousa Farias
Orientadora

Prof.Dr Miguel Arcanjo Bacellar Goes Telles Júnior
UniCEUB

Prof.MSc. Luciano Henrique Duque
UniCEUB

Prof.MSc.Flávio Antônio Klein
UniCEUB

Dedico este trabalho aos meus pais, Levindo José De Paula e Josefina Maria De Paula à minha querida esposa Andréa e meus filhos Herberth, Vinícius e Luisa, pelo apoio dado para a concretização de mais essa etapa em minha vida.

Gilberto José De Paula

AGRADECIMENTOS

Agradeço em primeiro lugar a Deus, por ter me agraciado com o dom da vida me abençoando e conduzindo em todas as etapas de minha vida.

Agradeço aos meus pais Levindo José De Paula e Josefina Maria De Paula, que apesar de todas as dificuldades sempre tiveram sabedoria para me mostrar a importância dos estudos em minha vida.

A minha querida esposa Andréa Kelen Marques De Paula, minha eterna companheira que me apoiou e me incentivou desde o início quando decidi cursar engenharia.

Aos meus filhos Herberth Marques De Paula, Vinícius Marques De Paula e Luisa Marques De Paula pela compreensão e apoio durante este período que estive mais ausente em casa.

A todas as minhas irmãs pelas quais tenho profunda admiração e carinho, pelo apoio e incentivo.

Aos meus amigos de turma pelo apoio e solidariedade de todos em especial meu amigo Ayrton Gissoni meu grande parceiro nos estudos.

Aos meus queridos professores pela competência e seriedade com que conduzem o curso de engenharia de computação.

Ao meu querido amigo José Carlos pela sua paciência e solidariedade em compartilhar seu grande conhecimento em eletrônica.

Aos professores Luciano Duque e José Julimá pelo apoio e incentivo durante o desenvolvimento deste trabalho.

A minha querida orientadora professora Maria Marony, pelo apoio e paciência.

Muito obrigado!

Gilberto José De Paula

“A mente que se abre a uma nova ideia jamais voltará ao seu tamanho original”

Albert Einstein

SUMÁRIO

CAPÍTULO 1 INTRODUÇÃO	10
1.1 Contextualização do Projeto	10
1.2 Objetivo Geral	12
1.3 Objetivos Específicos.....	12
1.4 Motivação.....	12
1.5 Estrutura do trabalho	13
CAPÍTULO 2 REFERENCIAL TEÓRICO.....	14
2.1 Medidores de Energia	14
2.1.1 Medidores Monofásico de Energia Eletromecânico	14
2.1.2 Medidores de Energia Eletrônicos	18
2.2 Energia Elétrica.....	20
2.3 Potência.....	21
2.3.1 Potência Ativa.....	21
2.3.2 Potência Reativa.....	22
2.3.3 Potência Aparente.....	22
2.3.4 Fator de Potência	23
CAPÍTULO 3 DESENVOLVIMENTO	25
3.1 Modelo Proposto	25
3.2 Descrição dos Componentes do Sistema	26
3.2.1 Arduino.....	26
3.2.2 Ambiente de Desenvolvimento Integrado do Arduino - IDE.....	27
3.2.3 Sensor de Corrente ACS712	28
3.2.4 Shield Ethernet.....	30
3.2.5 Display de Cristal Líquido	32
3.3 Montagem do <i>Hardware</i>	34
CAPÍTULO 4 TESTES E RESULTADOS	36
4.1 Testes do Protótipo	36
4.2 Elaboração do Módulo Digital.....	37
4.3 Desenvolvimento do Módulo de Comunicação	38
4.4 Teste do Software	39
4.5 Dificuldades Encontradas / Soluções	44

4.5.1	Período da Rede Elétrica	45
4.5.2	Sensor de Tensão	45
4.5.3	Conexão do módulo Shield Ethernet	45
4.6	Produto Gerado.....	46
4.6.1	Cenário 1	49
4.6.2	Cenário 2	50
CAPÍTULO 5 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....		52
5.1	Conclusão	52
5.2	Proposta para Futuros Projetos	53
REFERÊNCIAS.....		54
APÊNDICE - A.....		56
APÊNDICE - B		57

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 2.1 MEDIDOR ELETROMECAÂNICO COM VISUALIZADOR TIPO PONTEIRO (FONTE: HTTP://WWW.SALFATIS.COM.BR).....	15
FIGURA 2.2 MEDIDOR ELETROMECAÂNICO COM VISUALIZADOR TIPO CICLOMÉTRICO (FONTE: HTTP://WWW.SALFATIS.COM.BR).....	16
FIGURA 2.3 – VISTA EXPLODIDA DO MEDIDOR MONOFÁSICO MODELO M12 (LANDIS&GYR, 2007)	17
FIGURA 2.4 – DIAGRAMA DE BLOCOS DO MEDIDOR ELETRÔNICO (NETO ET AL, 2011)	18
FIGURA 2.5 - MEDIDOR ELETRÔNICO DE ENERGIA ATIVA E REATIVA (FONTE: HTTP://WWW.SALFATIS.COM.BR)	19
FIGURA 2.6 - TRIÂNGULO DE POTÊNCIAS (FONTE: AUTOR)	23
FIGURA 3.1 - DIAGRAMA DE BLOCOS DO MEDIDOR DE ENERGIA(FONTE: AUTOR).....	25
FIGURA 3.2 - ARDUINO ATMEGA1280 (FONTE: HTTP://ARDUINO.CC/EN/MAIN/ARDUINOBOARDMEGA)	27
FIGURA 3.3 - IDE ARDUINO (FONTE: AUTOR).....	28
FIGURA 3.4 - SENSOR DE CORRENTE ACS712 (ALLEGRO MICROSYSTEMS, INC.,2010)	29
FIGURA 3.5 - FUNCIONAMENTO DO CI ACS712 (ALLEGRO MICROSYSTEMS, INC., 2011).....	30
FIGURA 3.6 - SHIELD ETHERNET W5100 WIZNETCHIP (FONTE: ITEADSTUDIO)	31
FIGURA 3.7 - DISPLAY LCD WINSTAR WH-1604A (FONTE: WWW.WINSTAR.COM)	32
FIGURA 3.8 - DIAGRAMA ELÉTRICO (FONTE: AUTOR)	35
FIGURA 4.1 - DIAGRAMA ELÉTRICO DO SENSOR DE TENSÃO (FONTE: AUTOR)	36
FIGURA 4.2 - DIAGRAMA ELÉTRICO DO SENSOR DE CORRENTE (FONTE: ALLEGRO MICROSYSTEMS, INC., 2011).....	37
FIGURA 4.3 - CONEXÃO ENTRE SHIELD ETHERNET E ARDUINO MEGA (FONTE: AUTOR).....	39
FIGURA 4.4 - CÓDIGO PARA O CÁLCULO DA TENSÃO (FONTE: AUTOR).....	40
FIGURA 4.5 - TESTE DO CÓDIGO PARA MEDIR TENSÃO (FONTE: AUTOR).....	40
FIGURA 4.6 - ACS712 (FONTE: ALLEGRO MICROSYSTEMS)	41
FIGURA 4.7 - CÓDIGO FASE 2 (FONTE: AUTOR).....	42
FIGURA 4.8 - FILTRO DE LINHA (FONTE: AUTOR)	43
FIGURA 4.9 - CÓDIGO FASE 3 (FONTE: AUTOR).....	44
FIGURA 4.10 - MEDIDOR DE ENERGIA (FONTE: AUTOR)	46
FIGURA 4.11 - ANALISADOR DE ENERGIA AE 100 (FONTE: AUTOR)	47
FIGURA 4.12 - CONSUMO DO ASPIRADOR DE PÓ (FONTE: AUTOR).....	49
FIGURA 4.13 - CONSUMO DE UMA CHURRASQUEIRA ELÉTRICA (FONTE: AUTOR).....	50
FIGURA 4.14 - CONSUMO DA MÁQUINA DE LAVAR (FONTE: AUTOR)	51

LISTA DE TABELAS

TABELA 1 – VISTA EXPLODIDA DO MEDIDOR MONOFÁSICO MODELO M12.....	17
TABELA 2 - DESCRIÇÃO DA COMUNICAÇÃO COM O LCD WINSTAR WH-1604A	33
TABELA 3 - DESCRIÇÃO DO LCD WINSTAR WH-1604A	33
TABELA 4 - PINOS DO LCD	41
TABELA 5 - TESTES	48
TABELA 6 - CUSTOS DO PROJETO	56

LISTA DE EQUAÇÕES

EQUAÇÃO 3.1 - EQUAÇÃO DA POTÊNCIA INSTANTÂNEA.....	21
EQUAÇÃO 3.2 - EQUAÇÃO DA POTÊNCIA ATIVA	22
EQUAÇÃO 3.3 - EQUAÇÃO DA POTÊNCIA REATIVA	22
EQUAÇÃO 3.4 - EQUAÇÃO DA POTÊNCIA APARENTE.....	23
EQUAÇÃO 3.5 - EQUAÇÃO DO FATOR DE POTÊNCIA	24
EQUAÇÃO 3.6 - EQUAÇÃO DO FATOR DE POTÊNCIA UTILIZANDO O COSSENO.....	24

RESUMO

No trabalho proposto é apresentado o desenvolvimento de um medidor eletrônico de demanda de consumo de energia elétrica residencial com acesso remoto via browser tendo como finalidade facilitar o monitoramento e gerenciamento do consumo de energia elétrica. Para tal, foi utilizado um circuito microcontrolador que recebe de sensores de corrente e tensão sinais analógicos que são processados para calcular a potência ativa, reativa e o fator de potência. Os resultados são enviados para um display de cristal líquido para a visualização local e também são hospedados em uma página html localizada na própria memória do microcontrolador que possibilita, através de um circuito específico ethernet acoplada ao circuito, o acesso pelo browser de um computador.

Palavras chaves: Medidor eletrônico, micro controlador, fator de potência, potência, potencia real, potência reativa, Arduino, energia elétrica, shield ethernet, página html.

ABSTRACT

In the proposed work it is presented the development of an electronic meter of the demand for residential electricity consumption with remote access via browser in order to facilitate the monitoring and management of electricity consumption. For this we used a microcontroller circuit that receives sensor voltage and current analog signals which are processed to calculate active, reactive and power factor. Results are sent to a liquid crystal display for local viewing and are also hosted in an html page located in the microcontroller's own memory that allows, through a specific ethernet circuit coupled to the circuit, access the browser of a computer.

Keywords: Electronic meter, micro controller, power factor, power, real power, reactive power, Arduino, power, ethernet shield, html page.

CAPÍTULO 1 INTRODUÇÃO

1.1 Contextualização do Projeto

Atualmente o consumo racional de energia é um dos temas mais debatidos dentro do contexto de sustentabilidade, visto que a maior parte da energia consumida vem de fontes não renováveis. O consumo sustentável é um conjunto de práticas relacionadas à aquisição de produtos e serviços que visam diminuir ou até mesmo eliminar os impactos ao meio ambiente.

Porém ainda faltam políticas que motive a população a um consumo de energia mais racional e projetos que incentivem a pesquisa e o desenvolvimento de tecnologias que proporcionem um consumo de energia mais sustentável.

A disponibilidade de energia elétrica se enquadra dentro dos principais fatores de desenvolvimento para as nações, sendo assim, a energia elétrica passa a ser uma variável estratégica de crescimento mundial sobre a qual os planejadores podem e devem atuar no sentido de moldar esse estilo de crescimento pretendido. A escolha deste estilo, certamente, terá implicações no sistema de produção de energia elétrica, pois este se encontra presente em todos os aspectos do consumo final individual e coletivo, e também como importante fator de produção. (Borenstein & Camargo, 1999).

A energia elétrica pode ser gerada por intermédio de diferentes fontes. No Brasil a energia elétrica, em grande parte, vem das usinas hidrelétricas. A energia elétrica é importante em nossas residências, por isso devemos utilizá-la de forma racional, sempre consumindo o necessário, dessa forma estaremos contribuindo para preservação de nosso meio ambiente.

O aumento do desperdício de energia elétrica implica obrigatoriamente no aumento da potência instalada de geração. Este aumento representa um custo elevado, tanto ambiental quanto em investimentos em equipamentos (MARTINS, 1999).

O medidor de demanda de energia elétrica proposto atua no auxílio e combate ao desperdício e se apresenta como uma ferramenta excelente na

contribuição aos programas de conscientização dos consumidores do governo federal.

Segundo o PROCEL, o Programa de Combate ao Desperdício de Energia Elétrica, cerca de 25% da energia produzida no país é gasta em residências, sendo o chuveiro um dos maiores responsáveis pela alta do preço da conta no fim do mês. Tomar banhos curtos, apagar luzes ao sair dos aposentos, não deixar eletrodomésticos ligados, nem abrir a porta da geladeira sem necessidade são formas fáceis de economizar energia.

O medidor de demanda de energia elétrica proposto atua nesse contexto, possibilitando a medição, a visualização dos dados de consumo, tanto local como remotamente via web, auxiliando no controle das cargas residenciais e consequentemente na redução do consumo e desperdícios desnecessários.

Atualmente as distribuidoras de energia elétrica utilizam para medir o consumo de energia residencial os medidores eletromecânicos que podem ter seu visualizador do tipo ponteiro, o qual oferece grande dificuldade no entendimento dos dados pelo usuário. Também é utilizado o medidor tipo ciclométrico que é um pouco menos complexo que o primeiro, porém ambos trabalham apenas com leitura local.

Um outro fator limitante destes tipos de medidores, é o fato de medirem apenas a potência ativa ou seja, potência que realmente é convertida em trabalho pelos equipamentos elétricos, desconsiderando a potência reativa que representa a energia que circula de forma oscilante nas instalações mas não é consumida por nenhum receptor (uma das características de cargas indutivas e capacitivas).

Este projeto propõe uma forma diferente de se medir a energia elétrica utilizando um protótipo de medidor eletrônico de demanda de consumo de energia elétrica que calcule não só a potência ativa mas também a potência reativa e o fator de potência, além disso seus dados poderão ser visualizados facilmente de forma local (sendo visualizados em display de cristal líquido), como também acessado remotamente, por qualquer dispositivo que possua um Browser, através página Web.

1.2 Objetivo Geral

O objetivo do projeto é desenvolver um medidor eletrônico de demanda de consumo de energia elétrica que possibilite a visualização remotamente dos dados de potência ativa, potência reativa e o fator de potência com uma variação máxima de 5%.

1.3 Objetivos Específicos

1. Medir corrente, tensão, potência, fator de potência e energia;
2. Monitorar o consumo de energia elétrica como base no microcontrolador Arduino ATMega1280;
3. Desenvolver um software básico para tratar as medidas de tensão, corrente, potência e fator de potência;
4. Listar as informações de tensão, corrente, potência e energia em vários dispositivos, em especial: Display de Cristal Líquido (LCD) e por meio de uma página Web;
5. Contribuir na prevenção e redução do desperdício de energia elétrica residencial.

1.4 Motivação

Resolver um problema de visualização das informações referentes ao consumo de energia elétrica dos medidores eletromecânicos convencionais que são usados pelas companhias elétricas, pois estes possuem diversos ponteiros e engrenagens que são de difícil entendimento para usuário comum.

Tornar mais fácil a gerência do consumo de energia elétrica de uma forma mais racional e sustentável e evitando as surpresas desagradáveis ao receber a fatura no final do mês. Possibilitando dessa forma que o usuário possa acompanhar periodicamente via web o seu gasto energético de qualquer lugar e a qualquer hora.

1.5 Estrutura do trabalho

O trabalho se divide em capítulos:

No capítulo 2 é apresentado os tipos e modelos de medidores de energia elétrica, modelo atual, suas limitações e os princípios físicos tratados no projeto;

O capítulo 3 apresenta o desenvolvimento modelo proposto, a descrição dos materiais utilizados e construção do protótipo;

O capítulo 4 apresenta os testes e resultados;

No capítulo 5 é apresentado as conclusões.

CAPÍTULO 2 REFERENCIAL TEÓRICO

Este capítulo tem como objetivo o embasamento teórico necessário para a resolução do problema apresentado no capítulo 1. Nele serão apresentados os principais conceitos sobre os medidores de energia elétrica desde os primeiros modelos até os atuais, os principais fenômenos físicos relacionados com a proposta de desenvolvimento de protótipo de um medidor eletrônico de demanda de consumo de energia elétrica, abrangendo os conceitos de potência em circuitos senoidais.

2.1 Medidores de Energia

O medidor de energia elétrica é um dispositivo eletromecânico (equipamento eletrônico) que é utilizado pela concessionária (entidade fornecedora de energia elétrica) para medir o consumo de energia elétrica. Este dispositivo está presente na maioria das casas e habitações no mundo moderno e foi criado em 1888 por Oliver Blackburn Shallenberger baseado num medidor de ampère-hora para corrente alternada, passando posteriormente a ser adotado como padrão pela indústria.

Desde sua invenção, o medidor de quilowatt-hora (kWh) passou a ser utilizado pelas concessionárias para medir o consumo da energia elétrica dos seus consumidores, para isso é utilizado dois tipos de medidores: eletromecânico e eletrônico. O eletromecânico utiliza o princípio da indução eletromagnética para o seu funcionamento e o eletrônico funciona através de circuitos integrados, sendo ambos projetados para funcionar em tensões puramente senoidais, (NETO et al., 2011).

2.1.1 Medidores Monofásico de Energia Eletromecânico

O medidor de energia é composto basicamente por duas partes: a primeira é eletromecânica e a segunda por um sistema de relojoaria. Nos primeiros medidores de energia elétrica na qual ocorria disposição de metal em um eletrodo bastava multiplicar a corrente elétrica por um fator envolvendo a tensão de linha

para encontrar o valor da energia. Esse fator adquiriu uma nova forma de cálculo a partir de 1903 que é mantida até hoje.

Mesmo com os aperfeiçoamentos ocorridos ao longo do tempo, a indução continuou sendo seu mais importante princípio de funcionamento. A maioria dos consumidores brasileiros seja residencial, comercial e industrial ainda tem seu consumo realizado pelos medidores eletromecânicos do tipo indução.

Os medidores de energia elétrica eletromecânicos se dividem em dois tipos, que dependendo da tensão e da capacidade de corrente, terão algumas variações: os monofásicos são de um elemento; os polifásicos são de dois ou três elementos.

Quanto a visualização dos dados é feito por registradores tipo ponteiro ou ciclométricos. A Figura 2.1 ilustra um medidor eletromecânico com visualizador tipo ponteiro:



Figura 2.1 Medidor Eletromecânico com Visualizador Tipo Ponteiro (Fonte: <http://www.salfatis.com.br>)

A Figura 2.2 ilustra um medidor eletromecânico com visualizador tipo ciclométrico. Este, é atualmente o mais usado por apresentar menor complexidade na visualização e na leitura das informações em relação ao medidor eletromecânico com visualizador tipo ponteiro.



Figura 2.2 Medidor Eletromecânico com Visualizador Tipo Ciclométrico (Fonte: <http://www.salfatis.com.br>)

O medidor eletromecânico do tipo indução é constituído de diversas partes, incluindo: base, terminais, bloco de terminais, mostrador, cilindro ciclométrico, núcleo, bobina de corrente, bobina de tensão/potencial, elemento motor, dispositivos de calibração, elemento frenador, tampa do medidor, elemento móvel, catraca, dispositivos de compensação, estrutura/armação e mancais. Um diagrama esquemático para um medidor eletromecânico monofásico é apresentado na Figura 2.3 e sua descrição Tabela 1.

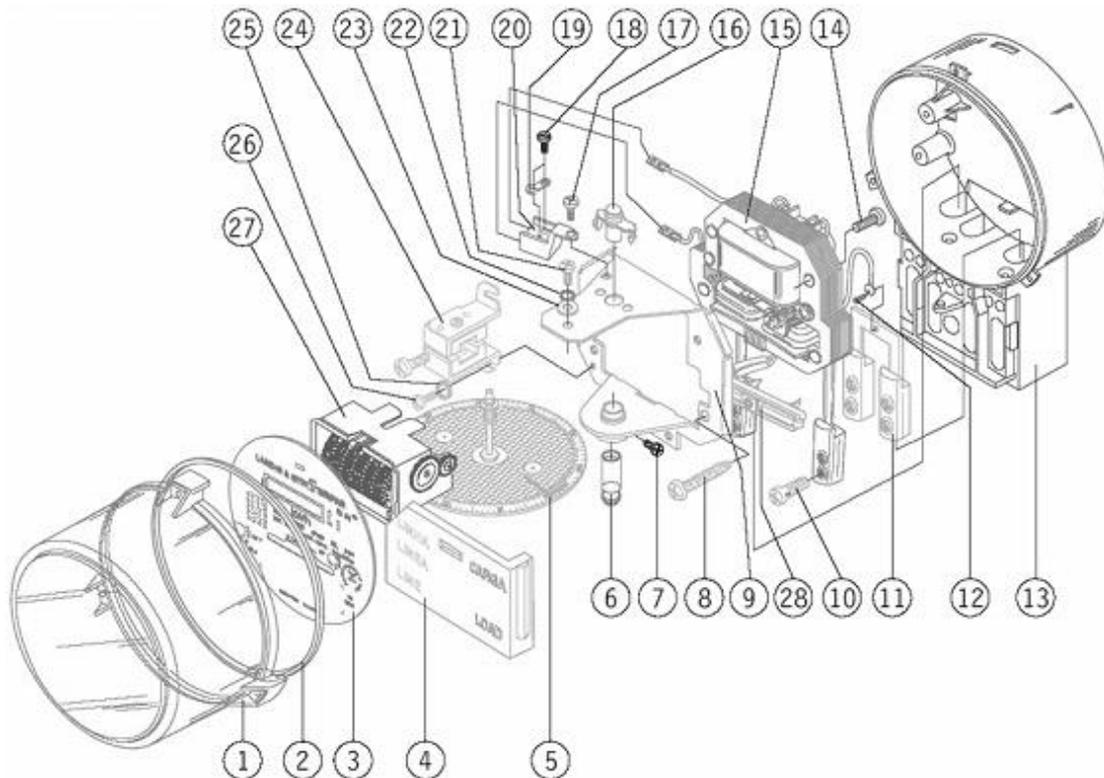


Figura 2.3 – Vista Explodida do Medidor Monofásico Modelo M12 (LANDIS&GYR, 2007)

Tabela 1 – Vista Explodida do Medidor Monofásico Modelo M12

Item	Descrição	Item	Descrição
1	Tampa do medidor	15	Elemento motor
2	Gaxeta da tampa do Medidor	16	Mancal superior (pino guia)
3	Placa de identificação	17	Parafuso fixação superior do terminal de prova
4	Tampa do bloco terminais	18	Parafuso fixação do gancho de prova
5	Elemento Móvel	19	Gancho de prova
6	Mancal inferior (magnético)	20	Suporte prova interna
7	Parafuso fixação do mancal inferior	21	Parafuso fixação do registrador
8	Parafuso fixação do elemento motor	22	Arruela pressão
9	Armadura	23	Arruela lisa
10	Parafuso terminal de corrente	24	Imã frenador
11	Terminal ligação de neutro	25	Arruela pressão
12	Parafuso fixação do terminal de potencial-ligação de neutro	26	Parafuso fixação do conjunto imã
13	Base e bloco do medidor	27	Registrador
14	Parafuso fixação do elemento armadura	28	Suporte da indutiva

(Fonte : LANDIS&GYR, 2007)

2.1.2 Medidores de Energia Eletrônicos

Os primeiros medidores eletrônicos comerciais surgiram nas décadas de 1970/1980 e faziam uso de circuitos discretos. Em seguida, desenvolveram-se os medidores com DSPs (Digital Signal Processor) e finalmente os com circuitos integrados dedicados.

Um medidor de energia comercial do tipo eletrônico pode ser esquematizado de acordo com o diagrama de blocos presente na Figura 2.4. Os transdutores de tensão e de corrente fazem a aquisição e adequação dos sinais de entrada a serem multiplicados. O multiplicador determina a potência instantânea por meio da multiplicação dos sinais de tensão e de corrente vindos dos transdutores. A energia é obtida pela integração da potência instantânea que é realizada pelo integrador. Por fim, o resultado é mostrado no registrador. O medidor do tipo eletrônico foi colocado à jusante do medidor do tipo indução, nesse caso, o medidor que está à montante (indução) estaria medindo também o consumo do medidor eletrônico, porém, o consumo desse medidor é insignificante perante a potência das cargas envolvidas. (Silva, 2010).

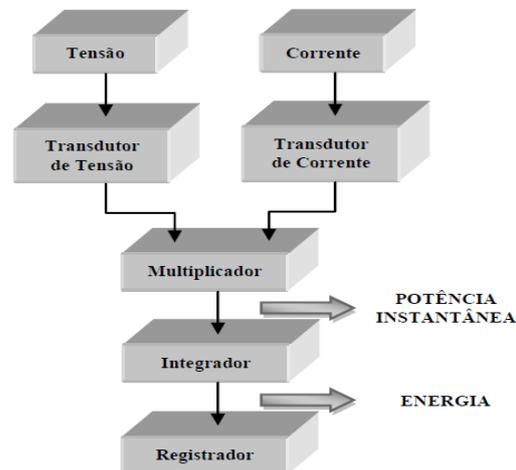


Figura 2.4 – Diagrama de Blocos do Medidor Eletrônico (NETO et al, 2011)

Para realizar a leitura das variáveis os medidores eletrônicos utilizam amostras em pequenos intervalos de tempo através de conversores analógico para digital (A/D). A quantidade de bits nos conversores A/D e precisão de

processamento definem a classe de exatidão do equipamento, possibilitando a estes uma maior precisão do que os medidores eletromecânicos convencionais.

Ao contrário dos medidores eletromecânicos que mede apenas o consumo de potência ativa, os medidores eletrônicos podem realizar várias tarefas simultaneamente em um mesmo equipamento. Os medidores eletrônicos além da potência ativa pode medir potência reativa, potência aparente, demanda máxima, fator de potência, tensão e corrente, e ainda o uso de memória de massa para registro do consumo com informação de data e hora. A Figura 2.5 ilustra um medidor de energia eletrônico.



Figura 2.5 - Medidor Eletrônico de Energia Ativa e Reativa (Fonte: <http://www.salfatis.com.br>)

A leitura dos medidores de energia eletrônicos é feita a partir de um protocolo de comunicação entre o medidor e o equipamento utilizado para a captura dos dados de consumo, ou através de protocolos de comunicação de rede que envia os dados para um banco de dados da própria concessionária de energia. (Silva, 2010).

No Brasil o sistema tarifário é estruturado em dois grupos de consumidores, grupo A e grupo B. A Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL) define, por meio da resolução 456 de 2000, que o grupo A é composto por unidades consumidoras atendidas em alta superior ou igual a 2,3 kV, ou ainda unidades consumidoras atendidas com tensão inferior a 2,3 kV a partir de sistema subterrâneo

de distribuição, caracterizado por estrutura de tarifação binômica e subdividido nos seguintes subgrupos:

- A1: nível de tensão de 230 kV ou superior;
- A2: nível de tensão de 88 a 138 kV;
- A3: nível de tensão de 69 kV;
- A3a: nível de tensão de 30 a 44 kV;
- A4: nível de tensão de 2,3 a 25 kV;
- AS: sistemas subterrâneos.

O grupo B é composto por unidades consumidoras com tensão de fornecimento inferior a 2,3 kV, subdividido nos seguintes subgrupos:

- B1: residencial e residencial de baixa renda;
- B2: rural, abrangendo diversas classes (e.g, agropecuária, indústria rural, serviço público de irrigação);
- B3: demais classes;
- B4: iluminação pública;

Devido ao alto custo dos medidores eletrônicos a sua implementação tem ocorrido de forma gradativa no Brasil onde que o grupo A foram as primeiras unidades consumidoras a receberem.

2.2 Energia Elétrica

Segundo Cid Tomanik Pompeu¹, a “energia de um sistema é o seu potencial de trabalho. A energia elétrica é uma das formas de energia dentro de um sistema; ela corresponde ao produto de uma diferença de potencial (volts) por uma corrente elétrica (ampères) pelo tempo (segundo) em que é fornecida. Assumindo o papel de mercadoria, a energia pode ser objeto de relação jurídica”, sendo considerada pela legislação vigente como bem móvel.

Energia elétrica ativa é aquela que pode ser convertida em outra forma de energia e é expressa em quilowatts-hora (kWh).

Energia elétrica reativa é aquela que circula entre os diversos campos elétricos e magnéticos de um sistema de corrente alternada, sem produzir trabalho e é expressa em quilovolt-ampère-reativo-hora (kvarh).

2.3 Potência

A potência é uma grandeza física que tem como definição a relação diretamente proporcional entre a tensão e a corrente elétrica. A Equação 2.1 é a equação para cálculo da potência instantânea, que é a potência dada em um instante qualquer de tempo considerando v e i (tensão e corrente) como sinais senoidais no regime estacionário. (NIELSON, 2003).

$$P = VI \quad (2.1)$$

Onde:

- P é a potência instantânea dada em Watts;
- V é a tensão dada em Volts;
- I é a corrente elétrica dada em Ampères.

No sistema internacional de unidades (S.I.) a unidade de potência é o Watt, cujo símbolo é W em homenagem ao engenheiro escocês James Watt. Um watt corresponde a potência de um aparelho que, quando em funcionamento, fornece a energia de um joule em cada segundo. Uma vez que existem máquinas com potência elevada, é habitual trabalhar-se com múltiplos do watt, tal como o quilowatt (kW), o megawatt (MW) e o gigawatt (GW).

2.3.1 Potência Ativa

A potência ativa também chamada de potência média ou real, é uma grandeza elétrica que mede o valor médio da potência instantânea em um determinado período de tempo que representa a parcela da potência presente em um circuito que é convertida em formas não-elétricas de energia. A potência ativa é a potência que realiza trabalho, gerando calor ou movimento. A Equação 2.2 para o cálculo da potência ativa é a seguinte:

$$P = UI \cdot \cos(\theta_v - \theta_i) \quad (2.2)$$

Onde:

- P é a potência ativa dada em Watts;
- U é a tensão dada em Volts;
- I é a corrente elétrica dada em Ampéres;
- θ_v é o ângulo de fase da tensão;
- θ_i é o ângulo de fase da corrente elétrica.

(NIELSON, 2003).

2.3.2 Potência Reativa

A potência reativa é uma grandeza elétrica que não é convertida em formas não elétricas de energia. A potência reativa pode ser armazenada no campo magnético de um indutor, como ocorre nos motores e cargas indutivas ou armazena também no campo elétrico de um capacitor. A Equação 2.3 para a potência reativa que é medida em Var (Volt Ampére reativo) é a seguinte: (NIELSON, 2003).

$$Q = VI \sin(\theta_v - \theta_i) \quad (2.3)$$

Onde:

- Q é a potência reativa, dada em Var;
- U é a tensão dada em Volts;
- I é a corrente elétrica dada em Ampéres;
- θ_v é o ângulo de fase da tensão;
- θ_i é o ângulo de fase da corrente elétrica.

(NIELSON, 2003).

2.3.3 Potência Aparente

A potência aparente é o módulo da soma quadrática de potencia ativa e reativa, dada em Volt-Ampére (VA). A Equação 2.4 é a utilizada para cálculo da potência aparente. (NIELSON, 2003).

$$|S| = \sqrt{P^2 + Q^2} \quad (2.4)$$

Onde:

- S é a potencia aparente, dada em VA;
- P é a potência ativa, dada em W;
- Q é a potência reativa, dada em Var.

Na Figura 2.6 é mostrado as relações entre potência ativa, reativa e aparente, sendo representadas por um triângulo de potências.

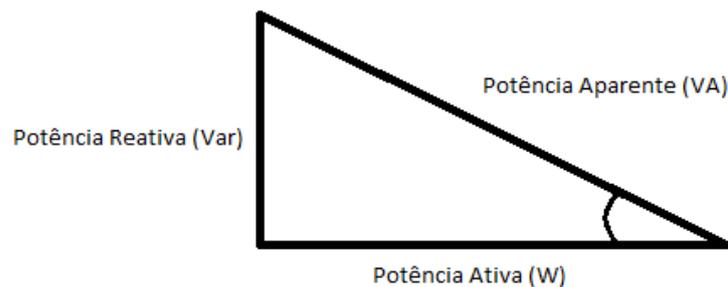


Figura 2.6 - Triângulo de Potências (Fonte: Autor)

2.3.4 Fator de Potência

Em certos equipamentos, tais como transformadores, fornos a arcos, motores elétricos e etc. Há a necessidade de uma certa quantidade de potencia reativa para sua operação, podendo essa potência reativa, ser suprida por diversas fontes ligadas ao sistema elétrico como:

- Geradores
- Motores síncronos
- Capacitores.

Os aparelhos consumidores normalmente dotados de bobinas apresentam energia reativa indutiva, esse tipo de carga apresenta fator de potência

reativo indutivo, como os motores de indução, reatores, transformadores ou que operam com a formação de arco elétrico e etc.

Os aparelhos consumidores que apresentam energia reativa capacitiva, esse tipo de carga apresenta fator de potência reativa capacitiva, como os motores síncronos ou por capacitores e etc.

O fator de potência serve para indicar a eficiência do uso da energia e é definido matematicamente como a razão entre duas quantidades representadas pela mesma unidade de potência, a potência ativa e a potência aparente, é um número adimensional.

A Equação 2.5 pode se determinada matematicamente pelo triângulo de potencias. Um fator de potência elevado indica uma alta eficiência no consumo de energia e um fator de potência baixo indica baixa eficiência energética.

$$FP = \frac{P}{S} \quad (2.5)$$

O fator de potência também é definido na Equação 2.6, como o cosseno do ângulo de fase entre a tensão e a corrente. Para indicar se a corrente está atrasada ou adiantada em relação à tensão, usam-se os termos atrasado e adiantado que indicam se a diferença $\theta_v - \theta_i$ é positiva ou negativa e, portanto, se a carga é indutiva ou capacitiva. (MAMEDE, 2002)

$$FP = \cos(\theta_v - \theta_i) \quad (2.6)$$

CAPÍTULO 3 DESENVOLVIMENTO

No Capítulo 3 é apresentada a relação de todo o material utilizado juntamente com o desenvolvimento do protótipo de medidor eletrônico de demanda de consumo de energia elétrica.

3.1 Modelo Proposto

O sistema proposto é de fácil instalação junto ao quadro de energia elétrica, tendo como parâmetro o medidor convencional instalado pelas companhias elétricas nas residências. De forma simplificada o medidor proposto facilita a visualização e interpretação dos dados, pois além do cálculo da potência ativa, ele também calcula a potência reativa e o fator de potência. A Figura 3.1 ilustra o diagrama de blocos do modelo proposto.

DESENVOLVIMENTO DE PROTÓTIPO DE MEDIDOR DE DEMANDA DE ENERGIA ELÉTRICA RESIDENCIAL COM ACESSO REMOTO

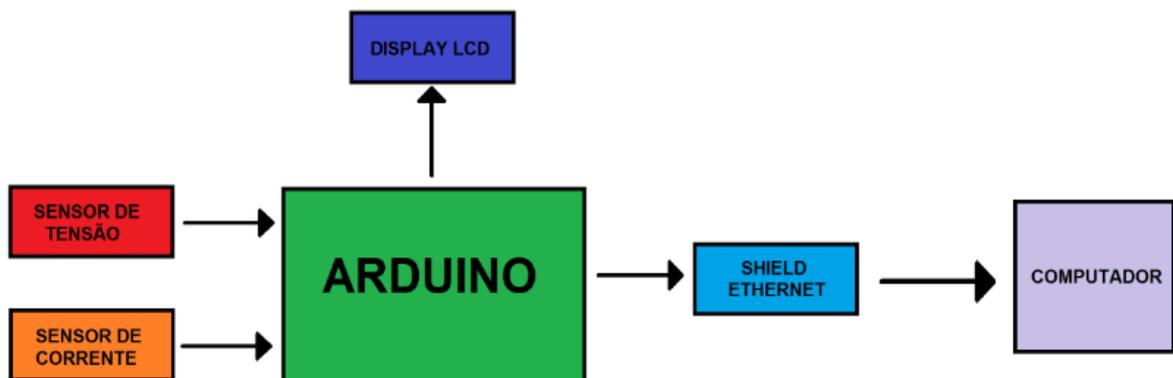


Figura 3.1 - Diagrama de blocos do medidor de energia(Fonte: Autor)

O sistema tem a finalidade facilitar a visualização das informações de interesse dos seus usuários, pois além de uma visualização local da informação, através de um display de cristal líquido, o usuário pode ter o acesso remoto dessas informações por meio de uma página Web. Para a construção de um protótipo de um medidor de energia elétrica residencial com acesso remoto utilizou-se do microcontrolador Arduino, shield ethernet e sensores de corrente e tensão.

O microcontrolador Arduino é utilizado para receber os dados analógicos de corrente e tensão e fazer todo o processamento necessário para a obtenção do consumo de energia.

O uso de sensores acopladores de corrente e tensão são necessários para que seja possível ler valores altos de corrente e tensão e repassá-los (em) ao (níveis baixos para o) micro controlador;

A utilização da Shield Ethernet possibilita a transmissão dos dados em uma rede de computadores de internet e exibição das informações de potência ativa, reativa e fator de potência;

O display LCD é utilizado para a visualização dos dados de consumo no local onde o medidor está instalado.

3.2 Descrição dos Componentes do Sistema

3.2.1 Arduino

Neste trabalho foi utilizado o microcontrolador Arduino Mega que é uma placa de microcontrolador baseada no ATmega1280. Ele possui 54 pinos de entradas/saídas digitais, 16 entradas analógicas, 4 UARTs (portas seriais de hardware), um oscilador de cristal de 16 MHz, uma conexão USB, uma entrada de alimentação e um botão de reset.

Utilizando o Arduino é possível fazer aplicações interagindo com o ambiente através da criação de programas que manipulem suas entradas e saídas, convertendo medidas do mundo real em sinais elétricos.

Utilizando as entradas e saídas do Arduino é possível conectar sensores como o sensor de temperatura, luminosidade, umidade, pressão, distância e outros dispositivos como o displays, LED, interruptores, motores e placas extensíveis como GSM, 3G, Ethernet, bluetooth, relés e etc...

O Arduino Mega possui 54 entradas/saídas digitais, das quais 14 podem ser utilizadas como saídas PWM, 16 entradas analógicas, 4 portas seriais (UART). O Arduino Mega utiliza um oscilador de 16MHz, possui conector de força, conector

ICSP, botão de reset e uma interface de comunicação USB. Na Figura 3.2 é mostrado o Arduino ATmega1280.



Figura 3.2 - Arduino ATmega1280 (Fonte: <http://Arduino.cc/en/Main/ArduinoBoardMega>)

3.2.2 Ambiente de Desenvolvimento Integrado do Arduino - IDE

O IDE do Arduino é uma aplicação multiplataforma escrita em Java, na qual é derivada dos projetos *Processing* e *Wiring*. É construído para introduzir a programação a pessoas leigas ao desenvolvimento de software. Possui um editor de código com recursos de realce de sintaxe, parênteses correspondentes e indentação automática, sendo capaz de compilar e carregar programas para a placa com um único clique. Com isso não há a necessidade de editar Makefiles ou rodar programas em ambientes de linha de comando. Na Figura 3.3 é mostrado a IDE do Arduino.

Tendo uma biblioteca chamada "Wiring", ele possui a capacidade de programar em C/C++. Isto permite criar com facilidade muitas operações de entrada e saída, tendo que definir apenas duas funções no pedido para fazer um programa funcional:

- `setup()` – Inserida no início, na qual pode ser usada para inicializar a configuração, e;
- `loop()` – Chamada para repetir um bloco de comandos ou esperar até que seja desligada.

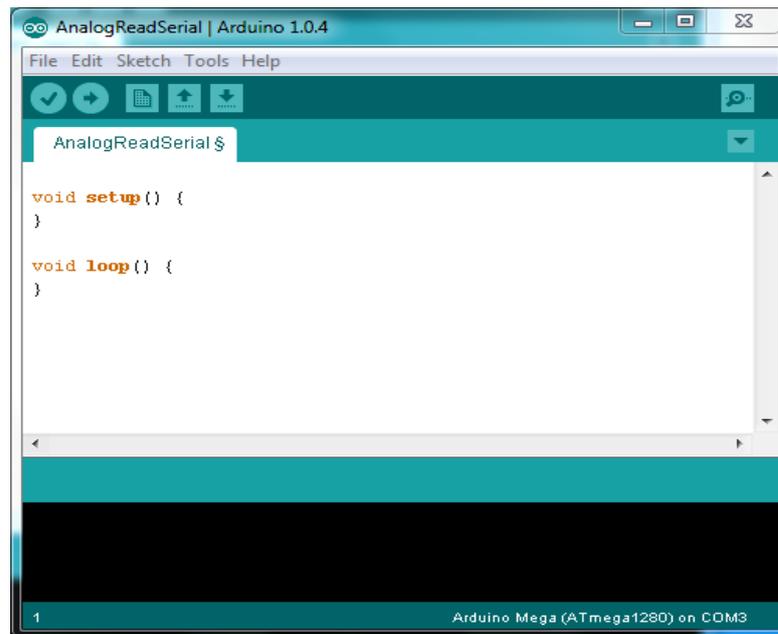


Figura 3.3 - IDE Arduino (Fonte: Autor)

3.2.3 Sensor de Corrente ACS712

Os sensores de corrente são responsáveis por fornecer um nível adequado de tensão as entradas analógicas do microcontrolador que no caso do Arduino são 5 volts.

Na maior parte dos circuitos eletrônicos não é possível aplicar diretamente aos seus terminais um sinal de tensão. No entanto, sensores são necessários para possibilitar que os valores a serem aplicados sejam compatíveis para essa aplicação. (TEIXEIRA, 2009).

Para a coleta das amostras de corrente do protótipo, foram estudados sensores de corrente de efeito Hall que são dispositivos semicondutores que geram um sinal de corrente quando são inseridos em um campo magnético e uma tensão é aplicada a eles. É possível medir a corrente AC ou DC que circula por um condutor, pois esta produz um campo magnético. (UFMG, 2010).

O sensor utilizado neste protótipo é o ACS712ELC-5b fabricado pela Allegro Micro Systems, por apresentar boa linearidade, um isolamento satisfatório

entre a parte de potência e a parte de tratamento de dados, e um tamanho reduzido em um encapsulamento SOIC8. (ALLEGRO MICROSYSTEMS, INC., 2010).

O CI (circuito integrado) Allegro ACS712 (Figura 3.4) provê uma solução com um ótimo custo benefício para medir correntes alternadas e contínuas para a indústria, comércio e telecomunicação. Aplicações típicas desse sensor incluem: controle de motores, sensores de sobrecorrente, sensores de consumo entre outros. Abaixo, alguns dos benefícios e características desse CI listadas em seu datasheet:

- Baixa interferência;
- Alta velocidade da resposta, 5 μ s;
- Erro de 1,5% a temperatura de 25°C;
- Tamanho reduzido;
- 1,2 m Ω de resistência interna do condutor;
- 2,1 kVRMS de isolamento de tensão entre os pinos 1-4 para os pinos 5-8;
- Sensibilidade da saída de 66 a 185 mV/A.

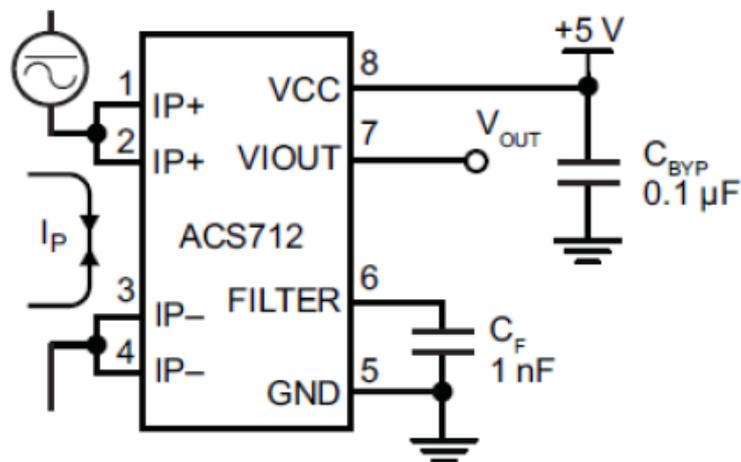


Figura 3.4 - Sensor de Corrente ACS712 (ALLEGRO MICROSYSTEMS, INC.,2010)

O ACS712 apresenta um isolamento elétrico entre os pinos de potência (1, 2, 3, 5) para os pinos de 4 a 8, o que permite que o CI possa ser usado em aplicações onde esse isolamento é necessário, sem o uso de um isolante óptico ou outro dispositivo de isolamento (ALLEGRO MICROSYSTEMS, INC., 2010).

O CI ACS712, para que possa funcionar como sensor de corrente, deve ser ligado em série com a carga. Podem-se ligar os pinos 1 e 2, que estão eletricamente conectados à carga ou os pinos 3 e 4 que também estão eletricamente conectados. Escolhidos quais os pinos serão conectados à carga, os outros dois devem ser conectados de maneira a fechar o circuito. Uma corrente que percorre os pinos 1, 2, 3 e 4 como ilustram as setas na Figura 3.5 geram um campo magnético, na pastilha de efeito hall. Utilizando o conceito do efeito hall, uma tensão nas extremidades da pastilha é gerada e amplificada dentro do CI de forma a fornecer a saída no pino 7.

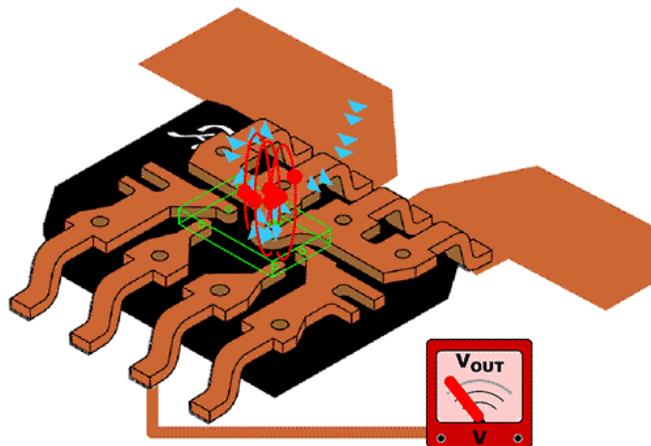


Figura 3.5 - Funcionamento do CI ACS712 (Allegro MicroSystems, Inc., 2011)

3.2.4 Shield Ethernet

O Arduino Ethernet Shield permite que uma placa Arduino se conecte à internet. Ele se baseia na W5100 Wiznetchip ethernet. O Wiznet W5100 fornece uma pilha com suporte aos protocolos de rede TCP e UDP (IP). Ele suporta até quatro conexões simultâneas. O Shield ethernet se conecta a uma placa Arduino usando conectores barra de pinos longos que se estendem através do Shield permitindo que outros Shields possam ser empilhados em cima. A mais recente revisão da placa é a versão 1.0.

Existe um soquete para cartão micro-SD, o qual pode ser usado para armazenar arquivos de suporte para a rede. É compatível com o Arduino Uno e

Mega (usando a biblioteca de Ethernet). O leitor de cartão micro-SD *onboard* é acessível através da Biblioteca SD.

O escudo (*shield*) também inclui um controlador de reset, para garantir que o módulo Ethernet W5100 está devidamente reiniciado quando necessário, já que revisões anteriores do Shield não eram compatíveis com o mega e precisava ser reiniciado manualmente após a inicialização. A Figura 3.6 ilustra o módulo Shield Ethernet W5100 utilizado no projeto.



Figura 3.6 - Shield Ethernet W5100 Wiznetchip (Fonte: Iteadstudio)

Arduino se comunica tanto com o W5100 e o cartão SD usando o barramento SPI (através do cabeçalho ICSP). Esta é feita através dos pinos digitais 11, 12 e 13 no Arduino Duemilanove e pinos 50, 51 e 52 no Mega. Em ambas as placas, o pino 10 é usado para selecionar o W5100 e o pino 4 para o cartão SD. Esses pinos não pode ser usado em geral como I/O (dispositivo de entrada e saída). No Arduino Mega, o pino SS hardware, que é usado para selecionar o W5100 ou o cartão SD, utiliza o pino 53 que deve ser mantido como uma saída para que a interface SPI funcione. O botão de reset no redefine tanto a W5100 quanto a placa Arduino.

O Ethernet Shield tem uma conexão Ethernet padrão RJ-45, com um transformador de linha integrado . O shield contém uma série de informativos LEDs :

- PWR: indica que a placa e o shield estão alimentados;
- LINK: indica a presença de um link de rede e pisca quando o shield transmite ou recebe dados;
- FULLD: indica que a conexão de rede é full duplex;
- 100M: indica a presença de uma ligação de rede 100 Mb;
- RX: pisca quando o shield recebe dados;
- TX: pisca quando o shield envia dados;

COLL: pisca quando são detectadas colisões de rede.

3.2.5 Display de Cristal Líquido

Para O LCD, ou display de cristal líquido, é um dos periféricos mais utilizados como dispositivo de saída em sistemas eletrônicos. Ele contém um microprocessador de controle, uma RAM interna que mantém escritos no display (DDRAM) os dados enviados pelo microcontrolador e uma RAM de construção de caracteres especiais (CGRAM). A Figura 3.7 ilustra um display 16x4 da WINSTAR WH-1604A.



Figura 3.7 - Display LCD Winstar WH-1604A (Fonte: www.winstar.com)

Os displays mais comuns têm normalmente 14 pinos ou 16 pinos. Destes, oito pinos são destinados para dados ou instrução, seis são para controle e alimentação do periférico e dois para backlight. O LED backlight (iluminação de fundo) serve para facilitar as leituras durante a noite. A Tabela 2 ilustra as principais instruções para comunicação com o LCD.

Tabela 2 - Descrição da Comunicação com o LCD Winstar WH-1604A

DESCRIÇÃO	MODO	RS	R/W	Código (Hex)
Display	Liga (sem cursor)	0	0	0C
	Desliga	0	0	0A / 08
Limpa Display com Home cursor		0	0	01
Controle do Cursor	Liga	0	0	0E
	Desliga	0	0	0C
	Desloca para Esquerda	0	0	10
	Desloca para Direita	0	0	14
	Cursor Home	0	0	02
	Cursor Piscante	0	0	0D
	Cursor com Alternância	0	0	0F
Sentido de deslocamento cursor ao entrar com caractere	Para a esquerda	0	0	04
	Para a direita	0	0	06
Deslocamento da mensagem ao entrar com caractere	Para a esquerda	0	0	07
	Para a direita	0	0	05
Deslocamento da mensagem sem entrada de caracter	Para a esquerda	0	0	18
	Para a direita	0	0	1C
End. Da primeira posição	Primeira linha	0	0	80
	Segunda linha	0	0	C0

(Fonte: www.winstar.com)

Normalmente, o microcontrolador apenas envia dados e comandos para o display, portanto o pino R/W pode ficar aterrado. O pino RS tem a função de informar se os dados no barramento D0 a D7 correspondem a comandos (RS=0) ou caracteres (RS=1). O pino E tem como função determinar quando o display deve ler o barramento. A Tabela 3 ilustra a especificação do LCD.

Tabela 3 - Descrição do LCD Winstar WH-1604A

Pin/NO.	Símbolo	Função
1	Vss	GND
2	Vdd	+3V ou +5V
3	Vo	Ajuste de Contraste
4	RS	H/L Seleção do registro do sinal
5	R/W	H/L Ler/Escriver o sinal
6	E	H->L Ativar Sinal
7	DB0	H/L Barramento de Dados
8	DB1	H/L Barramento de Dados

9	DB2	H/L Barramento de Dados
10	DB3	H/L Barramento de Dados
11	DB4	H/L Barramento de Dados
12	DB5	H/L Barramento de Dados
13	DB6	H/L Barramento de Dados
14	DB7	H/L Barramento de Dados
15	A/Vee	Tensão +4.2V para LED(RA= 0 Ohms) / D18V Voltagem negativa de saída
16	K	Fonte de alimentação B/L (0V)

(Fonte: www.winstar.com)

3.3 Montagem do *Hardware*

Para a montagem do hardware foi utilizado um pedaço de compensado de 32 por 20 centímetros para a fixação dos periféricos, sendo eles: um filtro de linha com 4 tomadas, um protoboard, o transformador de tensão, o Arduino e o display LCD.

Em seguida confeccionou-se cabos para a interligação dos periféricos e encaixou-se no protoboard os componentes eletrônicos e o sensor de corrente ACS712. A shield ethernet foi encaixada para interligação com os componentes citados anteriormente.

Terminado as conexões o circuito foi alimentado e iniciou-se a fase de testes com software. A Figura 3.8 ilustra o diagrama elétrico do medidor de consumo de energia feito no Proteus.

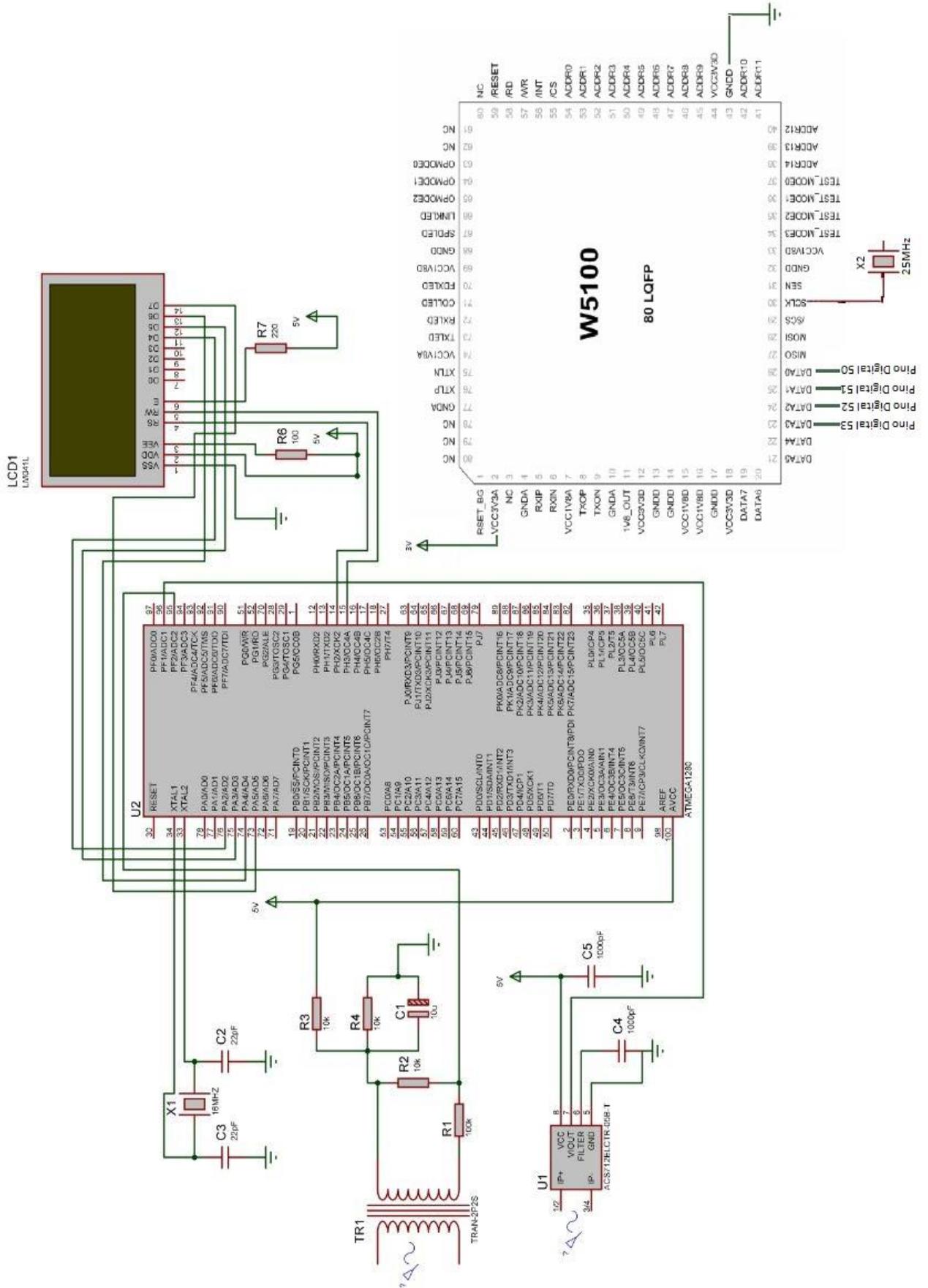


Figura 3.8 - Diagrama Elétrico (Fonte: Autor)

CAPÍTULO 4 TESTES E RESULTADOS

Neste capítulo é apresentado os testes do protótipo coletando amostras e comparando com o Analisador de Energia AE 100. Também foi descrito as dificuldades encontradas durante a realização deste trabalho e as soluções tomadas.

4.1 Testes do Protótipo

Esta fase dos testes tem o objetivo de colher amostras da tensão e corrente AC (Alternate Current – Corrente Alternada) a serem medidas e convertê-las em níveis de tensão DC (Direct Current – Corrente Contínua), que serão entregues às entradas analógicas do microcontrolador no módulo digital. A Figura 4.1 ilustra o diagrama elétrico da etapa de medição de tensão AC. O circuito é constituído por um transformador de tensão que reduz a tensão para 9 volts na saída quando a tensão de fase for 240V na entrada do transformador. Em seguida tem-se um circuito divisor de tensão que reduzirá a tensão para um nível aceitável pela entrada analógica do microcontrolador.

Na saída deste bloco tem-se um nível de tensão contínua variando entre 0V e 5V que, é diretamente proporcional ao nível de tensão AC na entrada do bloco.

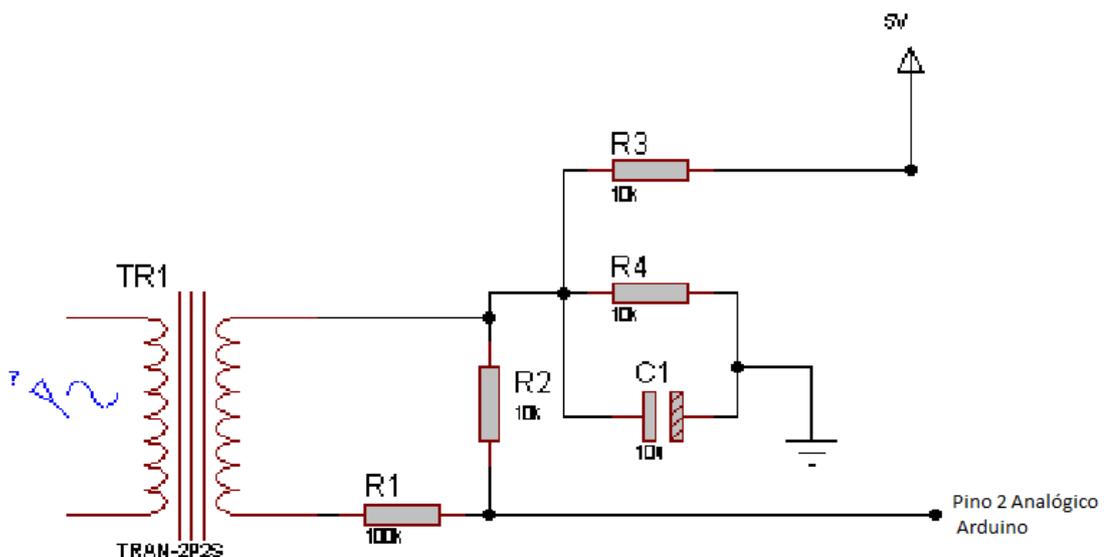


Figura 4.1 - Diagrama elétrico do sensor de tensão (Fonte: Autor)

Após pesquisar os métodos para medir corrente elétrica AC é decidido usar o sensor de efeito hall da Allegro ACS712, por se tratar de um circuito preciso de baixo offset e grande linearidade que possui um caminho de condução de cobre localizado perto da superfície do encapsulamento. Aplicando uma corrente que flui através desse caminho de condução de cobre é gerado um campo magnético que é percebido pelo integrado Hall e convertido em uma tensão proporcional contínua variando entre 0V e 5V. Esta é a solução aplicada na maioria dos equipamentos de medição industriais. A Figura 4.2 ilustra o diagrama elétrico do sensor de corrente ACS712 da Allegro utilizado no projeto.

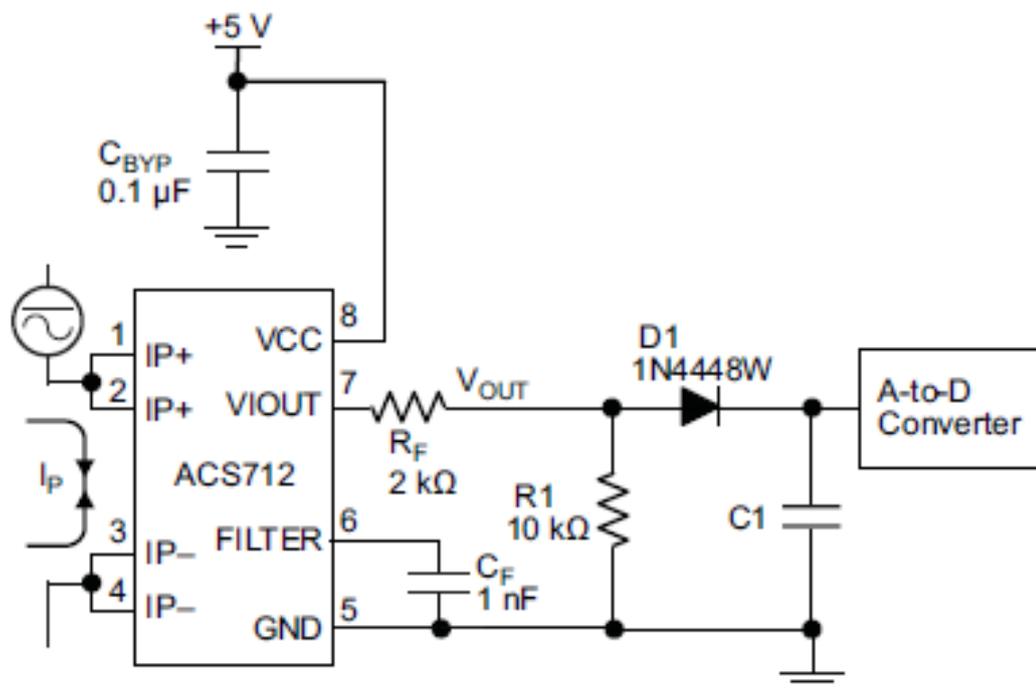


Figura 4.2 - Diagrama elétrico do sensor de corrente (Fonte: Allegro MicroSystems, Inc., 2011)

4.2 Elaboração do Módulo Digital

O núcleo desse módulo é constituído por um microcontrolador Arduino baseado no ATmega1280 com 128kbytes de memória flash para armazenamento do código, 16 MHz de clock, 54 pinos de entradas/saídas digitais e 16 entradas analógicas com 10 bits de resolução.

O sinal de tensão e corrente proveniente dos módulos analógicos são entregues as respectivas entradas analógicas, que fazem a conversão de analógico para digital (A/D). Após a conversão, o resultado de cada entrada é tratado pela biblioteca `emonlib.h` que salva cada entrada em uma variável do tipo `double`, sendo `VCAL` para o sensor de tensão e `ICAL` para o sensor de corrente. Portanto, tem-se uma variável `VCAL` (volts) e uma chamada `ICAL` (ampére), e cada uma representa o valor instantâneo de tensão e corrente presente na entrada do medidor em um dado momento. Para obter o valor da potência aparente multiplica-se V por I .

Para calcular o fator de potência, o circuito de tensão é monitorado até passagem pelo zero “0V” quando então um contador de tempo (função `millis` no Arduino) é disparado até a detecção da passagem do sensor de corrente pelo ponto zero “0A” onde cessa a contagem, conhecendo o período da rede elétrica, assim pode-se então calcular a defasagem entre corrente e tensão da rede e determinar o fator de potência.

4.3 Desenvolvimento do Módulo de Comunicação

No cenário atual, a internet é a rede de dados mais importante e utilizada, nesse contexto, para a visualização dos dados, além do display de cristal líquido, o projeto prevê a comunicação com uma rede de computadores local do tipo ethernet e o Arduino mega 1280 é um microcontrolador adequado por possuir memória suficiente para suportar o tamanho de uma pilha TCP/IP (Transmission Control Protocol - Protocolo de Controle de Transmissão / Internet Protocol - Protocolo de Interconexão). Entretanto é necessário um controlador de ethernet, onde o Shield Ethernet W5100 é utilizado. Este é fabricado pela Etead Studio com soquetes que permite a conexão direta sobre a placa do microcontrolador Arduino. A Figura 4.3 ilustra a conexão entre o Shield ethernet e o microcontrolador Arduino Mega.

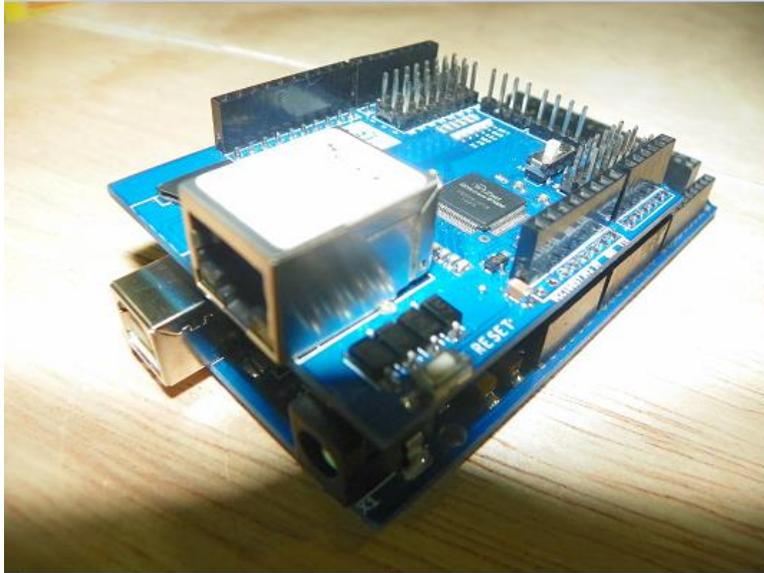


Figura 4.3 - Conexão entre Shield Ethernet e Arduino Mega (Fonte: Autor)

4.4 Teste do Software

Todo o código foi escrito na linguagem de programação do Arduino, uma linguagem de programação padrão, na qual tem origem em Wiring, e é essencialmente C/C++ utilizando a respectiva interface de desenvolvimento e compilação Arduino.

Após a montagem do módulo sensor de tensão, é compilado código inicial para cálculo da tensão, onde é adicionado ao código o comando `Serial.print` que imprime os resultados obtidos numa interface serial na tela do computador. Durante estes testes foi utilizado em paralelo um multímetro para comparar os resultados. A Figura 4.4 ilustra o código implementado e a Figura 4.5 ilustra os testes feitos com o auxílio do multímetro.

```
Modulo_para_medir_tensao | Arduino 1.0.4
File Edit Sketch Tools Help
Modulo_para_medir_tensao
#include "EmonLib.h"
EnergyMonitor emon1;

void setup()
{
  Serial.begin(9600);

  emon1.voltage(2, 246, 1.7);
}

void loop()
{
  emon1.calcVI(20,2000);

  float supplyVoltage = emon1.Vrms;
  Serial.print("Tensao rms:"); Serial.println(emon1.Vrms);
  Serial.print(" ");
}
}
```

Figura 4.4 - Código para o cálculo da Tensão (Fonte: Autor)

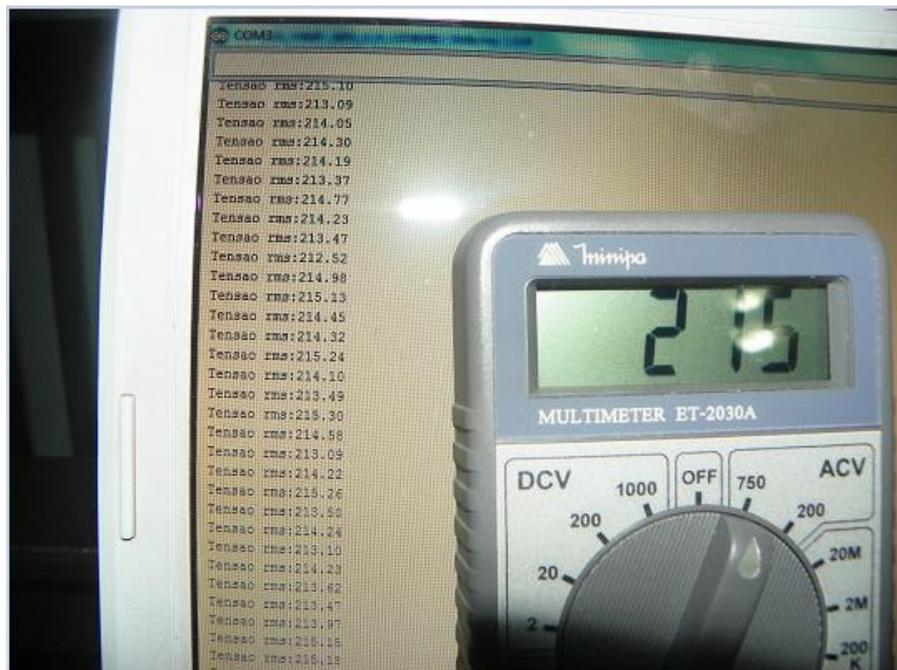


Figura 4.5 - Teste do código para medir tensão (Fonte: Autor)

Nesta etapa adicionou-se ao hardware o sensor de corrente ACS712 que teve os pinos 1 e 2 interligados entre si, assim como pinos 3 e 4 sendo que ambos foram ligados em série a uma tomada que serve para ligar as cargas que serão medidas. O pino 5 foi ligado ao ground, o 7 na porta analógica 1 do Arduino para entrada dos sinais de corrente e o 8 no Vcc 5 volts. A Figura 4.6 ilustra o circuito integrado ACS712 com seus respectivos pinos para uma melhor compreensão.

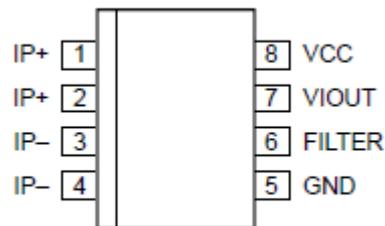


Figura 4.6 - ACS712 (Fonte: Allegro MicroSystems)

Ainda nesta etapa adicionou-se o display de cristal líquido que foi conectado de acordo com a Tabela 4.

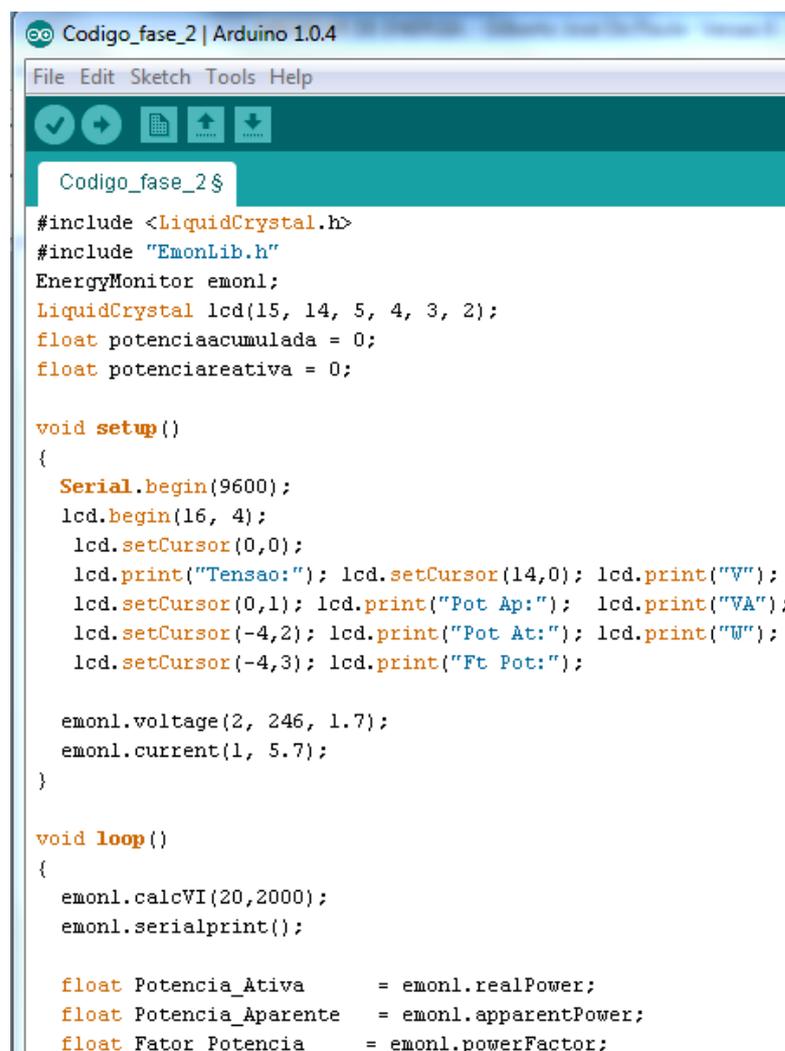
Tabela 4 - Pinos do LCD

PINO	SIMBOLO	FUNÇÃO	PINO CORRESPONDENTE NO ARDUINO
1	VSS	GND	Ground
2	VDD	+3v ou +5v	Vcc
3	V0	Ajuste contraste	Ligado em um potenciômetro de 10Kohm para ajuste do contraste
4	RS	Sinal	Pino digital 15
5	R/W	Escreve o sinal	Ground
6	E	Ativar o sinal	Pino digital 14
7	DB0	Dados	Desligado
8	DB1	Dados	Desligado
9	DB2	Dados	Desligado
10	DB3	Dados	Desligado
11	DB4	Dados	Pino digital 5
12	DB5	Dados	Pino digital 4
13	DB6	Dados	Pino digital 3
14	DB7	Dados	Pino digital 2
15	A/VEE	Luz de	Vcc com resistor de 100ohm

		fundo	
16	K	Zero volt	Ground

(Fonte: Modificada Winstar)

Após a conexão do sensor de corrente e display de cristal líquido é adicionado ao código a biblioteca `liquidcrystal.h` responsável pelo funcionamento do display LCD que utiliza somente os pinos superior do barramento de dados (DB7, DB6, DB5 e DB4). Então é solicitado da biblioteca `emonlib.h` os cálculos de corrente, potência aparente, potência ativa e fator de potência e adicionado as linhas de código para a impressão no display LCD, como ilustra a Figura 4.7 esta etapa de testes.



```

Codigo_fase_2 | Arduino 1.0.4
File Edit Sketch Tools Help
Codigo_fase_2 $
#include <LiquidCrystal.h>
#include "EmonLib.h"
EnergyMonitor emon1;
LiquidCrystal lcd(15, 14, 5, 4, 3, 2);
float potenciaacumulada = 0;
float potenciareativa = 0;

void setup()
{
  Serial.begin(9600);
  lcd.begin(16, 4);
  lcd.setCursor(0,0);
  lcd.print("Tensao:"); lcd.setCursor(14,0); lcd.print("V");
  lcd.setCursor(0,1); lcd.print("Pot Ap:"); lcd.print("VA");
  lcd.setCursor(-4,2); lcd.print("Pot At:"); lcd.print("W");
  lcd.setCursor(-4,3); lcd.print("Ft Pot:");

  emon1.voltage(2, 246, 1.7);
  emon1.current(1, 5.7);
}

void loop()
{
  emon1.calcVI(20,2000);
  emon1.serialprint();

  float Potencia_Ativa      = emon1.realPower;
  float Potencia_Aparente  = emon1.apparentPower;
  float Fator Potencia     = emon1.powerFactor;

```

Figura 4.7 - Código fase 2 (Fonte: Autor)

Um filtro de linha de quatro tomadas foi utilizado para a alimentação dos periféricos, sendo que os fios de alimentação do Transformador (sensor de tensão) foi soldado em paralelo a rede elétrica na parte interna do filtro de linha. As tomadas foram numeradas de 1 a 4 ficando a 1 e a 2 reservadas para fonte do Arduino e algum outro dispositivo caso haja necessidade. O sensor de corrente foi ligado em série às tomadas 3 e 4 que serão utilizadas para a conexão das cargas que serão medidas. A Figura 4.8 ilustra esta etapa do projeto.

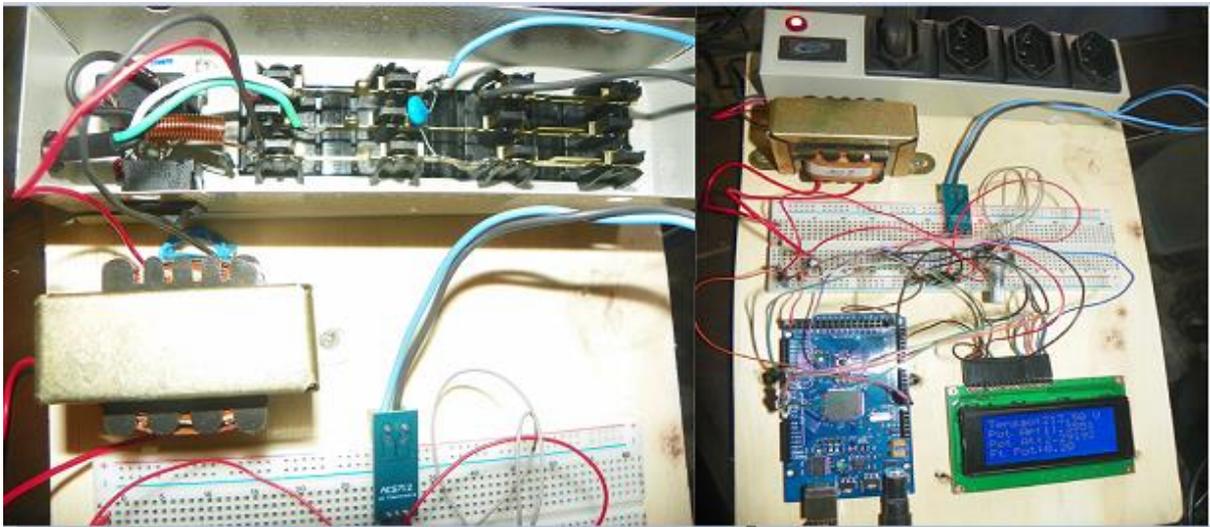
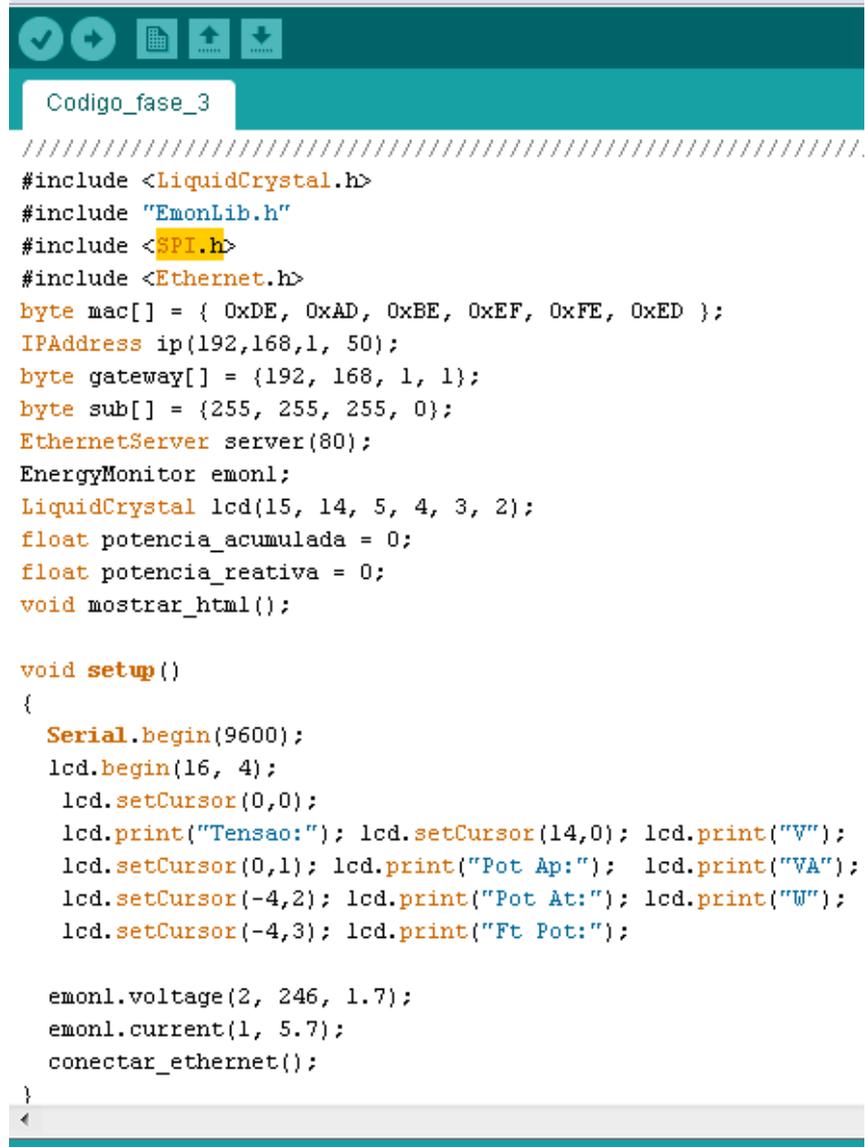


Figura 4.8 - Filtro de Linha (Fonte: Autor)

Para finalizar o protótipo foi conectado ao circuito a Shield Ethernet, sendo adicionado ao código a biblioteca Ethernet.h, e as linhas de código necessárias como: Endereço IP, máscara de sub rede, porta de acesso, endereço MAC e gateway.

Nesta etapa também foi adicionado ao código a biblioteca SPI.h que é responsável pelo servidor que hospeda a página html no Arduino onde foi feito as linhas de código para a visualização dos dados na página web. A Figura 4.9 mostra parte deste código.



```

////////////////////////////////////
#include <LiquidCrystal.h>
#include "EmonLib.h"
#include <SPI.h>
#include <Ethernet.h>
byte mac[] = { 0xDE, 0xAD, 0xBE, 0xEF, 0xFE, 0xED };
IPAddress ip(192,168,1, 50);
byte gateway[] = {192, 168, 1, 1};
byte sub[] = {255, 255, 255, 0};
EthernetServer server(80);
EnergyMonitor emonl;
LiquidCrystal lcd(15, 14, 5, 4, 3, 2);
float potencia_acumulada = 0;
float potencia_reativa = 0;
void mostrar_html();

void setup()
{
  Serial.begin(9600);
  lcd.begin(16, 4);
  lcd.setCursor(0,0);
  lcd.print("Tensao:"); lcd.setCursor(14,0); lcd.print("V");
  lcd.setCursor(0,1); lcd.print("Pot Ap:"); lcd.print("VA");
  lcd.setCursor(-4,2); lcd.print("Pot At:"); lcd.print("W");
  lcd.setCursor(-4,3); lcd.print("Ft Pot:");

  emonl.voltage(2, 246, 1.7);
  emonl.current(1, 5.7);
  conectar_ethernet();
}

```

Figura 4.9 - Código fase 3 (Fonte: Autor)

4.5 Dificuldades Encontradas / Soluções

Esta seção apresenta as principais dificuldades e as soluções encontradas ao longo do desenvolvimento do protótipo de medidor eletrônico de demanda de consumo de energia elétrica com acesso remoto.

4.5.1 Período da Rede Elétrica

Conhecer o período da rede elétrica que é necessário para o cálculo do fator de potência, foi uma das dificuldades encontradas. A solução utilizada neste trabalho foi monitorar o sinal senoidal do sensor de tensão até a passagem pela tensão zero (zero volt) quando então, um contador de tempo é disparado até a detecção da passagem do sensor de corrente pelo ponto zero. Porém ao visualizar o sinal do sensor de corrente no osciloscópio observou-se que o sinal se comportava como uma senóide perfeita apenas quando ligados a cargas resistivas e muito distorcido quando ligados a cargas capacitivas e indutivas. Essa característica fez com que o código implementado não funcionasse corretamente para cargas capacitivas e indutivas. Esse problema foi solucionado com a inclusão da biblioteca `emonlib.h` responsável pelo cálculo do fator de potência no código.

4.5.2 Sensor de Tensão

Outra dificuldade encontrada foi na maneira escolhida para a obtenção da tensão da rede elétrica onde inicialmente utilizou-se um resistor de fio de 4,7 K Ω e 20W de potência em série ao sensor de corrente ligados a rede elétrica. Com o produto da corrente pela resistência (lei de Ohm) obtém a tensão, contudo houve um aquecimento excessivo do resistor que dissipava a corrente em forma de calor. O problema foi resolvido com a substituição do resistor e do sensor de corrente por um transformador de tensão que recebe a tensão da rede em seu enrolamento primário e entrega uma tensão proporcional ao número de espiras do enrolamento secundário.

4.5.3 Conexão do módulo Shield Ethernet

Houve dificuldade na conexão do módulo shield ethernet com o Arduino, que mesmo após a conexão física entre os módulos e a compilação do código com as respectivas bibliotecas necessárias para o funcionamento do Shield Ethernet a

comunicação através da porta Ethernet (RJ45) não funcionou e após algum tempo de pesquisa foi descoberto uma incompatibilidade.

O Arduino se comunica tanto com o Shield EthernetW5100 quanto para o cartão SD usando o barramento SPI (através do cabeçalho ICSP) nos pinos digitais 11, 12 e 13 para o Arduino Duemilanove e para o modelo usado no projeto (Arduino Mega) os pinos 50, 51 e 52. (<http://Arduino.cc>). Como solução primeiro foram feitas alterações físicas na placa, desligando a comunicação dos pinos 11, 12 e 13 e religando nos pinos corretos 50, 51, 52 e finalizando com respectivas alterações dos pinos no código.

4.6 Produto Gerado

O Produto Gerado foi o medidor eletrônico de demanda de consumo de energia elétrica com capacidade para medir a tensão da rede, corrente consumida, Potência Aparente, Potência Ativa, Potência Reativa e Fator de Potência tendo como interface para visualização dos dados local um display LCD e remoto através do Browser, como ilustra a Figura 4.10.

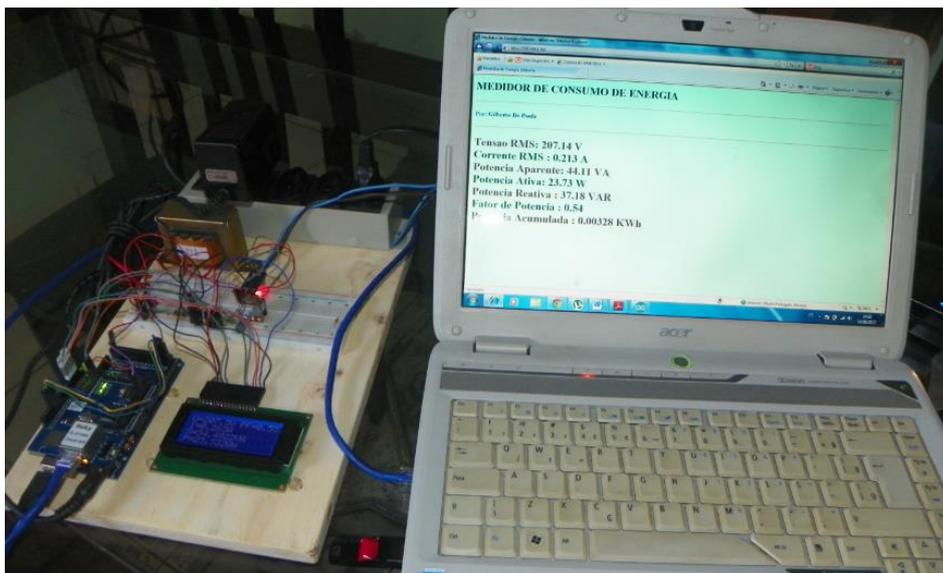


Figura 4.10 - Medidor de Energia (Fonte: Autor)

O Medidor de energia tem a finalidade de realizar a medição do consumo de energia elétrica de acordo com a carga de utilização. No entanto, foram realizados testes de validação para a coerência dos valores medidos, utilizando equipamento de medição homologado e distribuído comercialmente. A Figura 4.11 ilustra o Analisador de Energia Digital Portátil modelo AE-100, equipamento utilizado para os teste de validação.



Figura 4.11 - Analisador de Energia AE 100 (Fonte: Autor)

Para facilitar a compreensão dos testes montou-se uma tabela com diferentes tipos cargas lineares e não lineares, ligadas e testadas simultaneamente pelos dois equipamentos. A Tabela 5 ilustra de testes para obtenção do percentual de erros.

Tabela 5 - Testes

Eletrodoméstico Testado	Tensão		Corrente		Potência Aparente		Potência Ativa		Potência Reativa		Fator De Potência	
	U _{medidor}	D _%	I _{medidor}	D _%	S _{medidor}	D _%	P _{medidor}	D _%	Q _{medidor}	D _%	PF _{medidor}	D _%
Aspirador de Pó	U _{medidor}	211,0	3,4		718,0		645,0		316,0		0,91	
	U _{analisador}	211,7	3,7		700,0		600,0		200,0		0,90	
	D _%	0,33%	8,11%		2,57%		7,50%		58,00%		1,11%	
Ferro de Passar	U _{medidor}	208,2	4,3		899,0		908,0		0,0		1,01	
	U _{analisador}	207,4	4,6		900,0		900,0		0,0		1,00	
	D _%	0,39%	6,52%		0,11%		0,89%				1,00%	
Maquina de Lavar	U _{medidor}	209,6	2,5		523,0		510,0		113,0		0,98	
	U _{analisador}	208,9	2,5		500,0		400,0		200,0		0,96	
	D _%	0,34%	0,00%		4,60%		27,50%		43,50%		2,08%	
Churrasqueira Elétrica	U _{medidor}	208,9	4,4		929,0		938,0		0,0		1,01	
	U _{analisador}	207,7	4,8		900,0		900,0		0,0		1,00	
	D _%	0,58%	8,33%		3,22%		4,22%				1,00%	
Esteira de corrida	U _{medidor}	209,5	2,8		591,0		423,0		413,0		0,72	
	U _{analisador}	208,1	3,1		600,0		400,0		300,0		0,82	
	D _%	0,67%	9,68%		1,50%		5,75%		37,67%		12,20%	

Fonte: Autor

Para a análise das amostras coletadas durante os testes consideraram-se dois cenários sendo o primeiro os periféricos de entrada de dados no microcontrolador, sensor de tensão e sensor de corrente. No segundo cenário

analisou-se os resultados que para ser obtidos foi preciso analisar os sinais dos dois sensores simultaneamente como as potências e fator de potência.

4.6.1 Cenário 1

De acordo com os testes realizados observou-se que o transformador de tensão utilizado para a coleta das amostras de tensão da rede teve desempenho satisfatório, apresentando boa linearidade com uma margem de erro abaixo de 1% em relação ao analisador de energia utilizado como parâmetro. Na Figura 4.12 mostra testes feitos com o aspirador de pó.



Figura 4.12 - Consumo do Aspirador de Pó (Fonte: Autor)

O sensor de Efeito Hall Acs712 utilizado para a coleta das amostras de corrente embora não tenha se demonstrado tão preciso quanto o sensor de tensão também se comportou de maneira esperada com uma margem de erro em torno dos 5%. A Figura 4.13 ilustra esta etapa de testes onde foi utilizada como carga uma churrasqueira elétrica.

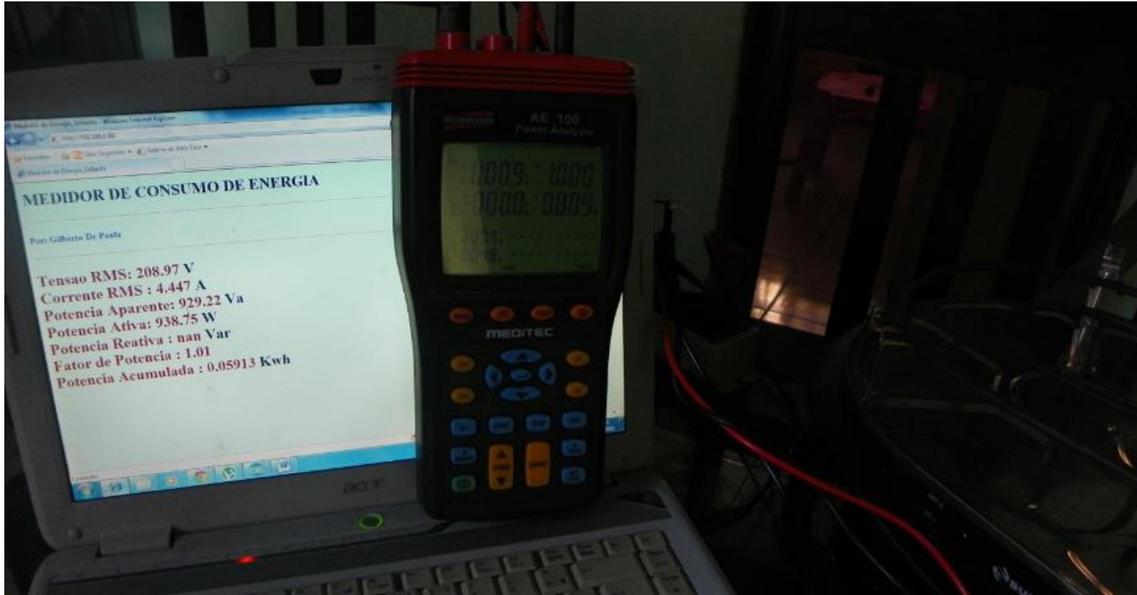


Figura 4.13 - Consumo de uma churrasqueira elétrica (Fonte: Autor)

4.6.2 Cenário 2

A potência aparente que é obtida do produto da tensão rms com a corrente rms e como já foi visto ficaram com uma media de erro de 1% e 5% respectivamente, matematicamente deveria ficar abaixo dos 5% o que foi constatado durante os testes.

Para o cálculo do fator de potência que é obtido através do cosseno do ângulo de defasagem entre corrente e tensão também se comportou dentro da margem de erro de 5% para cargas resistivas como e ferro de passar e churrasqueira elétrica, porém para as demais cargas não lineares chegou a 5,32%. Na Figura 4.14 é mostrado parte desta etapa de testes.

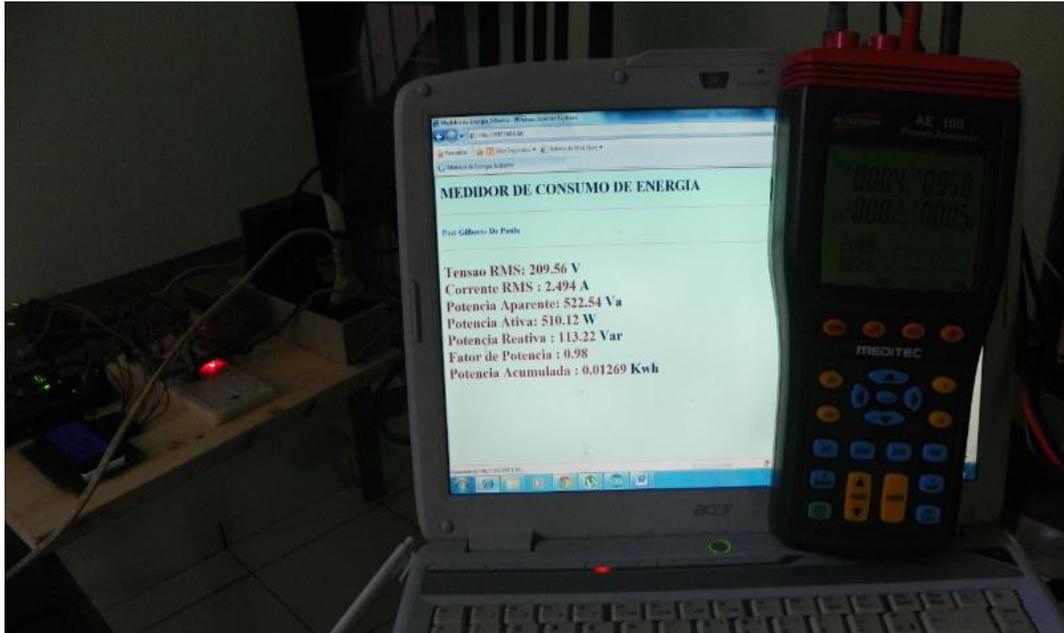


Figura 4.14 - Consumo da máquina de lavar (Fonte: Autor)

Para o cálculo da potência Ativa que é obtido pelo produto da potência aparente com o fator de potência, também se comportou abaixo dos 5% de erro para cargas resistivas e chegando a 6,5% para cargas indutivas.

A potência reativa que pode ser obtido a partir da diferença vetorial entre potência aparente e potência ativa que assim como a potência ativa manteve para cargas resistivas um percentual de erro abaixo dos 5% e acima de 5% para cargas indutivas chegando a 7,61% de erro.

CAPÍTULO 5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este capítulo trata das considerações finais a respeito deste do protótipo desenvolvido ao longo deste projeto, bem como apresenta propostas para futuros trabalhos nessa área.

5.1 Conclusão

O medidor de consumo de energia elétrica com acesso remoto proposto neste trabalho facilita a visualização dos dados e possibilita um melhor acompanhamento do consumo de energia, podendo ser usado para reduzir o desperdício de energia. Ao se conhecer o consumo atual dos equipamentos ligados na rede, o usuário poderá atuar de maneira proativa em busca da minimização do desperdício.

Os sistemas atuais para medição de energia elétrica baseiam-se em medidas puras de corrente, tensão e energia consumida em kwh. O projeto apresentado além das medições convencionais disponibiliza visualizações das potências: aparente, ativa, reativa e fator de potência para vários dispositivos tais como, display de cristal líquido e via web.

O objetivo geral do projeto foi atingido, pois através do Medidor Residencial de Demanda de Consumo de Energia Elétrica é possível fazer a visualização remota dos dados de potência ativa, potência reativa e o fator de potência com uma variação máxima para a maioria das cargas testadas de 5%.

Se analisarmos sua funcionalidade, o projeto proposto não é considerado de luxo, pois irá proporcionar redução de gastos desnecessários e desperdícios, contribuindo com a redução do consumo elétrico.

Os objetivos específicos foram atingidos com êxito. O microcontrolador Arduino ATmega1280 funcionou conforme o esperado e através dele e dos sensores de tensão e corrente foi possível medir com eficiência o consumo de energia elétrica. Também foi possível através da corrente e tensão medir as potências e fator de potência.

O medidor desenvolvido foi dividido em dois módulos: o módulo sensor, que apresentou um resultado satisfatório nos testes, tomando como base um equipamento comercial (Analisador de Energia Digital Portátil modelo AE-100), onde se pode observar que os valores de tensão e corrente medidos pelo módulo estavam bem próximos dos observados no AE-100. O segundo módulo gerencia o tráfego de dados entre o módulo sensor e o microcomputador retornando fator de potência que apresentou uma margem de erro dentro do esperado e as potências que apresentaram uma margem de erro acima do esperado (5%). Contudo em relação ao erro encontrado no resultado das potências é importante salientar que o Analisador de Energia Digital Portátil modelo AE-100 retorna os valores de potência na escala de Kilo (x1000) com apenas uma casa decimal prejudicando assim os testes referentes as potências.

Os módulos de medição e de coleta de dados foram concluídos e testados. O projeto apresenta uma visão voltada para a sustentabilidade possibilitando ao usuário comum controlar seus gastos com energia.

A principal contribuição deste trabalho foi o desenvolvimento de um sistema microcontrolado de medição de energia elétrica com capacidade de monitoramento remoto. Este sistema pode ser tomado como base para o desenvolvimento das novas formas de monitoramento de consumo elétrico proporcionando ao usuário um melhor gerenciamento do consumo de energia. Nesse cenário, o Medidor Residencial de Demanda de Consumo de Energia Elétrica contribui para o combate ao desperdício de energia elétrica.

5.2 Proposta para Futuros Projetos

- Calcular o custo do consumo e tendências;
- Poderá ser adicionado um teclado para entrada de dados como valor do Kwh ou metas de consumo para usuário;
- O incremento de mais sensores de corrente para o cálculo individual do consumo de variadas cargas e também a intervenção no circuito ou seja, ligar e desligar cargas através da interface web.

REFERÊNCIAS

ALLEGRO MICROSYSTEMS INC. Disponível em: <Fonte: www.allegromicro.com/~media/Files/Datasheets/ACS712-Datasheet.ashx>. Acesso em abril de 2013.

ARDUINO. Disponível em: < Fonte: www.Arduino.cc/>. Acesso em: abril de 2013

BORENSTEIN, C. R., CAMARGO, C. C. de B., CUNHA, C. J. C.A., et al. **Regulação e gestão competitiva no setor elétrico brasileiro**. Porto Alegre. Sagra-Luzzatto, 1999. 280p.

CLUBE DO HARDWARE, <Fonte: <http://www.clubedohardware.com.br/>> Acesso em: maio de 2013.

ELETRÔNICA BÁSICA. Disponível em < Fonte: <http://www.eletronica24h.com.br/>> Acesso em: março de 2012.

LANDISGYR EQUIPAMENTOS DE MEDIÇÃO LTDA. Disponível em: < Fonte: <http://www.landisgyr.com.br>>. Acesso em abril de 2013.

MARTINS, A.R.S., ALVEAL, Carmem, SANTOS, E.M. et al. **Eficiência energética: integrando usos e reduzindo desperdícios**. Agência Nacional de Energia Elétrica, 1999.

MARTINS, A.R.S., ALVEAL, Carmem, SANTOS, E.M. et al. **Eficiência energética: integrando (WAZLAWICK, 2009) Enciclopédia Saraiva do Direito** — Volume 32, pág. 124 — Cid Tomanik Pompeu;

McROBERTS, M., **Arduino Básico**, 1ª edição. (Zanolli, R, Trad.), Editora Novatec; 2012.

MEDIDORES MONOFÁSICOS. Disponível em: < Fonte: http://www.osetoreletrico.com.br/web/documentos/Outros/Ed63_aula_pratica_medicao.pdf>. Acesso em abril de 2013.

NETO, Daywes Pinheiro; LISITA, Luiz R.; MACHADO, Paulo C. M.; NERYYS, José W.; Silva, Marcelo Rubia da. Modelação e análise da vida útil (metrológica) de medidores tipo indução de Energia Elétrica Ativa / Marcelo Rubia da Silva. Disponível em: [//www.feis.unesp.br/Home/departamentos/engenhariaeletrica/pos-graduacao/264-dissertacao_marcelo_rubia_silva.pdf](http://www.feis.unesp.br/Home/departamentos/engenhariaeletrica/pos-graduacao/264-dissertacao_marcelo_rubia_silva.pdf). Acesso em abril de 2013.

NIELSON, J.W. **Circuitos Elétricos**. 6ª.ed. Rio de Janeiro: LTC, 2003.

Potência (*física*) . In **Infopédia** [Em linha]. Porto: Porto Editora, 2003-2013. Disponível em: <URL: [http://www.infopedia.pt/\\$potencia-\(fisica\)](http://www.infopedia.pt/$potencia-(fisica))>. Acesso em abril de 2013.

TEIXEIRA, L. L. **Medidor de Energia Eletrônico**. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Rio Grande do Sul. 2009

TIPLER, P.A., **Física para Cientistas e engenheiros – Eletricidade e Magnetismo, Ótica**. (4ª ed.). Volume 2. (H. Macedo & R. Biasi, Trad.), Rio de Janeiro, Brasil: Ed. LTC; 2000.

UFMG, Universidade Federal de Minas Gerais. **Medidas Elétricas**. Minas Gerais: 2010. Disponível em: <Fonte: http://www.cpdee.ufmg.br/~roger/instrumentacao/cap4_me.pdf>. Acesso em maio de 2013.

APÊNDICE - A

Tabela 6 - Custos do Projeto

Materiais	Quantidade	Custo R\$	Total
Arduino	1	125	125
Fonte	1	35	35
Transformador	1	22	22
Sensor de Corrente	1	30	30
Display LCD	1	36	36
Shield Ethernet	1	65	65
Conectores	60	0,1	6
Resistores	10	0,15	1,5
TOTAL (R\$)			320,5

(Fonte: Autor)

APÊNDICE - B

```

/////////////////////////////////////////////////////////////////
/////////////////////////////////////////////////////////////////
//AUTOR GILBERTO JOSE DE PAULA ///////////////////////////////////////////////////////////////////
//PROGRAMA ARDUINO PARA MEDICAO DE ENERGIA ELETRICA ///////////////////////////////////////////////////////////////////
///////////////////////////////////////////////////////////////////
///////////////////////////////////////////////////////////////////
/////////////////////////////////////////////////////////////////
//BIBLIOTECAS UTILIZADAS ///////////////////////////////////////////////////////////////////
///////////////////////////////////////////////////////////////////

#include <LiquidCrystal.h> //Inicializa a biblioteca Display de Cristal Líquido
#include "EmonLib.h" // inclui a biblioteca que calcula a tensão
#include <SPI.h> // Bilblioteca utilizada pelo Shield Ethernet
#include <Ethernet.h> //inicializa a biblioteca ethernet server

byte mac[] = { 0xDE, 0xAD, 0xBE, 0xEF, 0xFE, 0xED }; // Cria o endereço Mac
IPAddress ip(192,168,1, 50); // Atribui o endereço de IP
byte gateway[] = {192, 168, 1, 1}; //acesso internet via roteador
byte sub[] = {255, 255, 255, 0}; //máscara subnet
EthernetServer server(80); // Inicializa a biblioteca do servidor HTTP
EnergyMonitor emon1; // Cria uma instancia
LiquidCrystal lcd(15, 14, 5, 4, 3, 2); // inicializa o display LCD nos respectivos
pinos do Arduino

float potencia_acumulada = 0; // Variavel para calculo de consumo
float potencia_reativa = 0; // Variavel para calculo de potência reativa

//Realiza as configurações iniciais

void setup()

{

Serial.begin(9600); // Comunicação serial a 9600 bits por
segundo

```

```

//imprime no lcd o modelo de apresentação dos valores

lcd.begin(16, 4); // Declara o LCD de 16 colunas por 4 linhas
lcd.setCursor(0,0); // Desloca o cursor para a coluna 0 linha 0
lcd.print("U="); lcd.setCursor(7,0); lcd.print("V");
lcd.setCursor(9,0); lcd.print("PF=");
lcd.setCursor(0,1); lcd.print("I="); lcd.setCursor(7,1); lcd.print("A");
lcd.setCursor(-4,2); lcd.print("S="); lcd.setCursor(5,2); lcd.print("VA");
lcd.setCursor(-4,3); lcd.print("P="); lcd.setCursor(5,3); lcd.print("W" );

    emon1.voltage(2, 246, 1.7); // Entrar com pino do Arduino ,Voltagem
da rede e defasagem
    emon1.current(1, 5.7); // Entrar com pino do Arduino, Constante
do sensor de corrente
    conectar_ethernet(); // Conecta a Ethernet Shield
}

//Realiza conexão com rede via shield ethernet e inicializa o servidor
void conectar_ethernet() {
    Ethernet.begin(mac, ip);
    server.begin();
    Serial.print("servidor inicializado ");
    Serial.println(Ethernet.localIP());
}

//Função principal de operação. Repetida infinitas vezes a partir do momento que a função
de configuração termina.
void loop()
{

```

```

    emon1.calcVI(20,2000);           // Calcular a tensão correspondente ao sinal de
    entrada

    emon1.serialprint();             // Imprime na serial todos os valores calculados

    float Potencia_Ativa    = emon1.realPower;    //recebe potência Ativa
    float Potencia_Aparente = emon1.apparentPower; //recebe potência Aparente
    float Fator_Potencia    = emon1.powerFactor; //recebe fator de potência
    float Tensao_rms        = emon1.Vrms;        //recebe Tensão rms
    float Corrente_rms      = emon1.Irms;        //recebe Corrente rms

    //preenche os valores no modelo apresentado no lcd

    lcd.setCursor(-2,2); lcd.print(Potencia_Aparente,2); // Imprimir a potência ativa na coluna 3,
    linha 2 do LCD

    lcd.setCursor(2,1); lcd.print(Corrente_rms,3);      // Imprimir a potência aparente na coluna
    7, linha 1 do LCD

    lcd.setCursor(12,0); lcd.print(Fator_Potencia,2); // Imprimir a fator de potência na coluna
    3, linha 3 do LCD

    lcd.setCursor(2,0); lcd.print(Tensao_rms,1);       // Imprimir a potência ativa coluna 7, linha
    0 do LCD

    lcd.setCursor(-2,3); lcd.print(Potencia_Ativa,2);

    potencia_acumulada += Potencia_Ativa/3600000;      // Calcula a potência acumulada

    potencia_reativa = sqrt((Potencia_Aparente*Potencia_Aparente)-
    (Potencia_Ativa*Potencia_Ativa)); // Calcula a potencia reativa

    mostrar_html();
}

//Envia uma resposta http com as informações do medidor.
void mostrar_html(){
    EthernetClient client = server.available();

```

```

if (client) {
    Serial.println("new client");

    boolean currentLineIsBlank = true; //utilizada para detectar o envio de uma linha em
branco característico do final da solicitação HTTP.

    while (client.connected()) { //Enquanto o cliente estiver conectado

        if (client.available()) {

            char c = client.read();

            Serial.write(c); //escreve na serial os caracteres recebidos

            if (c == '\n' && currentLineIsBlank) { //se receber uma linha em branco (dois caracteres
de quebra de linha '\n' seguidos)

                // envia um cabeçalho HTTP

                client.println("HTTP/1.1 200 OK");

                client.println("Content-Type: text/html");

                client.println("Connection: close");

                client.println();

                // e envia os valores do medidor formatados em HTML

                client.print("<body style=background-color:#CCFFF>");

                client.println("<!DOCTYPE HTML>");

                client.println("<html>");

                client.println("<meta http-equiv=\"refresh\" content=\"3\">"); // Atualiza pagina

                client.println("<title>Medidor de Energia_Gilberto</title></head>\n");

                client.println("<h1><font color='#000033'>MEDIDOR DE CONSUMO DE
ENERGIA</h1>");

                client.println("<hr />"); // Imprime uma linha

                client.println("<h3><font color='#330099'>Por: Gilberto De Paula</h3>");

```

```
client.println();
client.println("<hr />"); // Imprime uma linha
client.println();
client.println("<br><B><font size='6'><font color='#990000'>Tensao RMS: ");
client.println(emon1.Vrms,2);
client.println("<B>V");
client.println();
client.println("<br><B><font color='#006400'>Corrente RMS : ");
client.println(emon1.Irms,3);
client.println("<B>A");
client.println();
client.println("<br><B><font color='#990000'>Potencia Aparente: ");
client.println(emon1.apparentPower);
client.println("<B>VA");
client.println();
client.println("<br><B><font color='#006400'>Potencia Ativa: ");
client.println(emon1.realPower);
client.println("<B>W");
client.println();
client.println("<br><B><font color='#990000'>Potencia Reativa : ");
client.println(potencia_reativa);
client.println("<B>VAR");
client.println();
client.println("<br><B><font color='#006400'>Fator de Potencia : ");
client.println(emon1.powerFactor);
client.println();
client.println("<br><B><font color='#990000'>Potencia Acumulada : ");
client.println(potencia_acumulada,5);
client.println("<B>KWh");
```

```
    client.println("</html>");  
    break;  
}  
if (c == '\n') {  
  
    currentLineIsBlank = true; //Caractere de Quebra de linha recebido. Linha atual está  
em branco.  
}  
else if (c != '\r') {  
  
    currentLineIsBlank = false; //Algun caractere foi recebido. A linha atual não está mais  
em branco.  
}  
}  
}  
  
delay(1); // Espera um milisegundo  
client.stop(); // Fecha conexão  
Serial.println("cliente desconectado");  
}  
}
```